This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

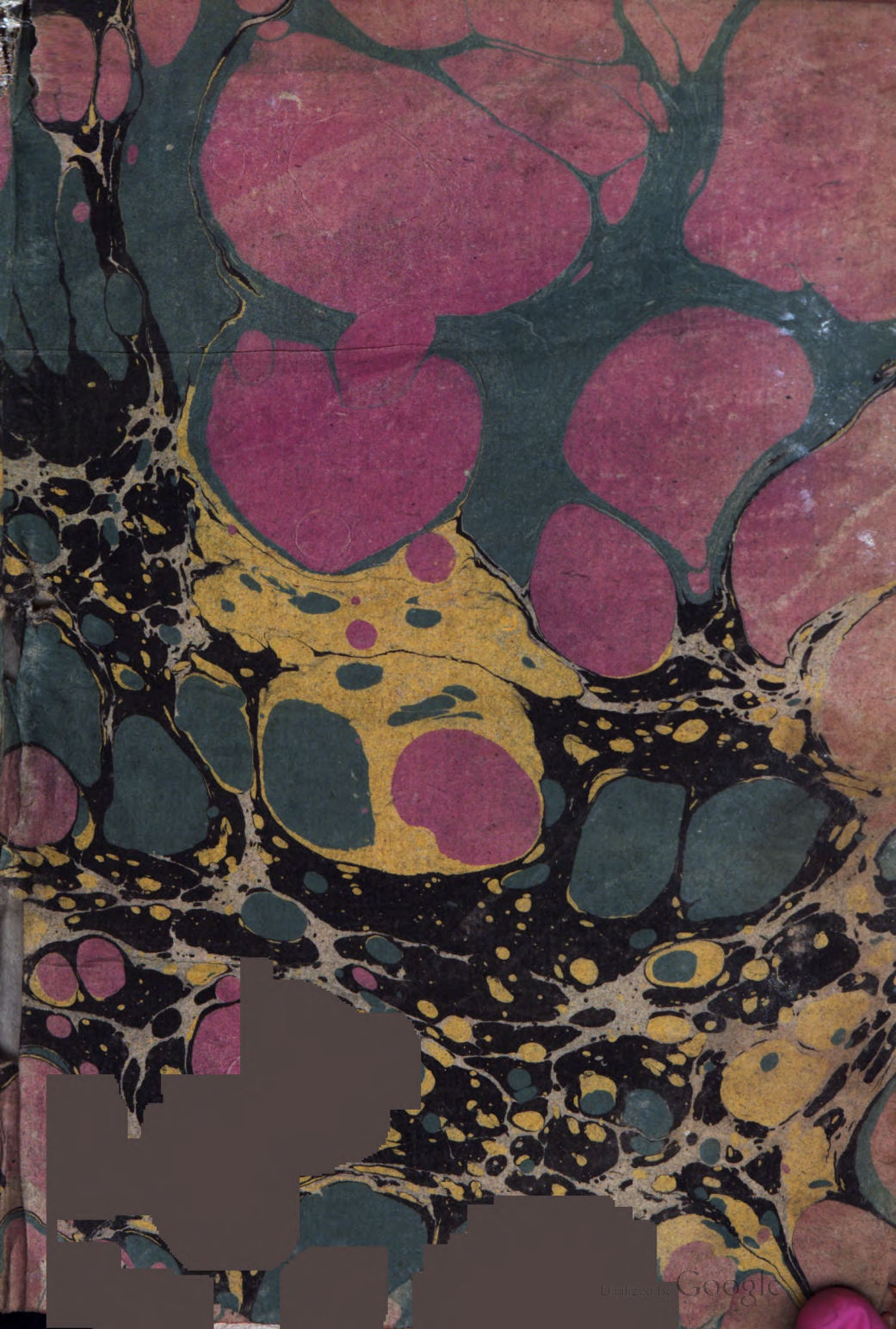
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Digitized by Google

Digitized by Google


Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

7-8-W.9.
[53]

5311274334

X-53-34238-5

Digitized by Google

R. 265.245 Real del St. Campo.

TRATADO ELEMENTAL

Ó

PRINCIPIOS DE FÍSICA

FUNDADOS

EN LOS CONOCIMIENTOS MAS CIERTOS,

ASÍ ANTIGUOS COMO MODERNOS,

Y CONFIRMADOS POR LA EXPERIENCIA.

ESCRITOS EN FRANCES

POR EL C. BRISSON,

MIEMBRO DEL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS Y ARTES, Y PROFESOR EN LAS ESCUELAS CENTRALES DE PARIS.

TRADUCIDOS AL CASTELLANO

DE LA TERCERA EDICION, EXÁMINADA DE NUEVO, CORREGIDA Y AUMENTADA POR EL AUTOR,

POR D. JULIAN ANTONIO RODRIGUEZ,

ARQUITECTO AL SERVICIO DE S. M.

TOMO SEGUNDO.

CON LICENCIA EN MADRID

EN LA IMPRENTA DE LA ADMINISTRACION DEL REAL ARBITRIO DE BENEFICENCIA.

AÑO DE 1803.

Digitized by Google

Digitized by Google

TRATADO ELEMENTAL DE FÍSICA.

CAPÍTULO X.

DE LOS FLUIDOS ELÁSTICOS.

587 Es una ley general y constante de la naturaleza que, quando se calienta un cuerpo, sólido ó fluido, aumenta de dimensiones en su totalidad ó en todas direcciones; sin que tenga excepcion alguna esta ley. Si, despues de haber apartado así las moléculas de un sólido, se le dexa enfriar, se acercarán estas moléculas en la misma proporcion: el cuerpo volverá á pasar, pero en direccion inversa, por los mismos grados de extension que habia corrido ántes; y vuelto á su primera temperatura, recobrará sensiblemente sus primeras dimensiones; llegando á ser mas pequeño si se sigue enfriándole mas.

Pero, como no conocemos grado ninguno de enfriamiento que no sea susceptible de poderse aumentar, ni tampoco el *cero* calor; resulta que no se ha podido aun conseguir el aproximar las moléculas de cuerpo alguno, todo lo que es posible; de adonde se puede concluir que no se da cuerpo cuyas moléculas se toquen; ó que por lo ménos si se tocan, no es mas que en muy pocos puntos: conclusion muy singular, y que sin embargo no nos es posible dexar de admitir.

Digitized by Google

Se dexa conocer que las moléculas de los cuerpos solicitadas de este modo por el calor para apartarse las unas de las otras, no tendrian union alguna entre sí; y que por lo mismo no habria ningun cuerpo sólido, si no estuviesen retenidas por una fuerza que tendiese á reunirlas; á cuya fuerza, sea qual sea su causa, se le ha dado el nombre de *atraccion ó afinidad.*

Obedecen pues las moléculas de los cuerpos alternativamente á dos fuerzas contrarias; una repulsiva que resulta de la accion de la materia del calor; y otra atractiva producida por la atraccion ó afinidad mutua de estas moléculas; las quales quedan en equilibrio entre estas dos potencias. En tanto que la atraccion es la mas fuerte, permanece el cuerpo siendo sólido; pero si la atraccion llega á ser la potencia mas débil, pierden su adherencia las moléculas, y el cuerpo cesa de ser un sólido. El agua nos presenta un exemplo de estos fenómenos: por baxo del término de yelo, es sólida, y se le da el nombre de *yelo*; por cima de este término es un líquido; y por cima de su grado de ebullicion toma el estado de vapor ó de gas, transformándose en un fluido aëriforme.

Otro tanto se puede decir de quasi todos los cuerpos de la naturaleza; los quales son sólidos, líquidos, ó fluidos aëriformes, segun la relacion que se halla entre la fuerza atractiva de las moléculas, y la fuerza repulsiva de la materia del calor. Estos fenómenos son el efecto de un fluido muy sutil, que se insinua entre las moléculas de todos los cuerpos; el qual es la causa del calor, y á lo que se llama *calórico.* De este modo es como se forman todos los *fluidos elásticos aëriformes.*

¿Pero de qué manera obra el calórico sobre los cuerpos? Es bastante difícil el responder á esta qües-

Digitized by Google

tion: el calórico penetra al traves de todos los poros de los cuerpos, pues que ninguna vaso puede contenerle sin pérdida; pero no se puede conocer sus propiedades mas que por efectos que son la mayor parte fugitivos y dificiles de poderlos observar. En todo aquello que no se puede ver ni palpar, se necesita estar prevenidos contra los extravíos de la imaginacion, que se inclina siempre á arrojarse mas allá de lo verdadero.

Acabamos de ver que un mismo cuerpo llega á ser sólido, líquido, ó aëriforme, segun la cantidad de calórico de que está penetrado, ó segun que la fuerza repulsiva del calórico, es ó mas débil, ó igual, ó superior á la atraccion de sus moléculas. Pero si no hubiese mas que estas dos fuerzas, no permanecerian los cuerpos en el estado de líquidos sino á un grado preciso de calor; y pasarian aceleradamente del estado sólido, al estado aëriforme. El agua, por exemplo, al dexar de ser yelo comenzaria á hervir, y se transformaria en fluido aëriforme; pero hay una tercera fuerza que se opone á este efecto, la qual es la presion de la atmósfera. Esta es la causa de que el agua se mantenga en el estado de liquidez desde el término de su congelacion hasta su grado de ebullicion; pues que si se disminuye esta presion, hierve y se evapora mas pronto.

Se ve pues que sin la presion de la atmósfera, no tendriamos líquidos constantes; y que los cuerpos no estarian en este estado mas que en el momento preciso en que se fundiesen; pues que el primer grado de calor siguiente los reduciria á fluidos aëriformes. Ni aun fluidos aëriformes tendriamos; porque, en el instante en que la fuerza de atraccion estuviese vencida por la fuerza repulsiva del calórico, se apartarian indefinidamente las moléculas unas de

Digitized by Google

otras. Se quedará convencido de lo dicho por el experimento siguiente. Colóquese debaxo de un recipiente armado de una navaja bien aguda, y al qual esté adaptado un termómetro, un vasito un poco mas alto que ancho, exâctamente lleno de éter y bien tapado con un pedazo de vexiga: despues de haber hecho el vacío en el recipiente, se revienta ó agujerea la vexiga con la navaja; é inmediatamente bulle el éter con rapidez, y llena el recipiente de su vapor. Durante la evaporacion, se enfria el todo considerablemente, como lo prueba el descenso del licor del termómetro, á causa de combinarse el calórico con la sustancia que se evapora; y de que el calórico combinado, por abundante que esté, no ocasiona calor ninguno sensible. Si se dexa todo esto el tiempo suficiente para que vuelva á tomar la temperatura del sitio, y en seguida se hace entrar el ayre en el recipiente, sube el termómetro mucho mas arriba que el punto ó grado en que estaba ántes, á causa de que el vapor, expuesto á la presion del ayre, vuelve á tomar el estado de líquido; por lo qual, cesando el calórico de estar combinado, y volviendo al estado de libertad, ocasiona este grado de calor sensible que hace subir el termómetro.

Acabamos de ver como se forman los fluidos elásticos: estos fluidos son todos aquellos que han tomado la forma del ayre de la atmósfera, y que tienen su apariencia. Los hay de dos especies: los unos son *permanentes* y los otros *no permanentes*.

588 Antes de explicar lo que significan estos términos, es preciso saber que la materia del *calor* (que se puede tambien llamar la materia *del fuego*, y que llaman ahora el *calórico*) es un fluido particular esparcido en todos los cuerpos de la naturaleza, y que existe en ellos en dos estados diferentes; á saber, en el estado de libertad, y en el es-

Digitized by Google

tado de combinacion. La materia del calor en el estado de libertad, es aquella que se halla alojada entre las partículas de los cuerpos, aquella que no se puede contener en un vaso cerrado, y aquella á quien nada puede detener, á causa de que penetra con facilidad todas las sustancias de una á otra superficie; cuya sola materia es la que hay capaz de excitar un calor sensible á nuestros órganos. Esta misma materia, en el estado de combinacion, es aquella que constituye uno de los principios de los cuerpos; en cuyo estado no es mas que un calor oculto, un calor *latente*; de modo que un cuerpo que contuviese una muy grande cantidad, no estaria para nosotros mas caliente que otro que no contuviese nada. Se desprende por lo regular esta materia en la descomposicion de los cuerpos; en cuyo caso, de calor oculto se convierte en calor sensible, tomando el estado de libertad; con lo qual se hace susceptible de obrar sobre los cuerpos colocados en su atmósfera, y cuya fuerza puede medir el termómetro. Esta es la causa de que en la descomposicion de los cuerpos, suceda freqüentemente el que haya algun calor excitado, como en la putrefaccion. Al contrario, en ciertas combinaciones en las quales hay absorvida mucha materia del calor, hay enfriamiento; como, por exemplo, quando un cuerpo pasa del estado de líquido al de vapor, que no puede variar así de estado, sin absorver una gran cantidad del calor libre que se halla en los cuerpos que le rodean, lo qual los enfria necesariamente.

589 Hemos dicho (587) que hay fluidos elásticos *permanentes*, y otros *no permanentes*: los primeros son aquellos en quienes se halla la materia del calor en el estado de combinacion; y que conservan su estado de fluidos elásticos á qualquiera temperatura que se hallen, causa por la qual se los llama *per-*

Digitized by Google

manentes: tales son el áyre y el gas. Los fluidos elásticos *no permanentes* son aquellos en quienes se halla en el estado de libertad una grande cantidad de la materia del calor: no pueden conservar estos su estado de fluidos elásticos, sino en tanto que estan poco comprimidos, ó que se hallan á una temperatura elevada; y mas ó ménos elevada, segun su naturaleza y su densidad; lo que ha hecho que se les llame *no permanentes*: tales son todos los vapores. El éter, por exemplo, se convierte en fluido elástico á una elevacion de cerca de 1400 toesas, por cima del nivel del mar, en virtud de la gran disminucion de la presion que padecia en lo baxo; pero si está expuesto á toda la presion de la atmósfera, necesita de 38 á 39 grados de calor para convertirse en fluido elástico: el espíritu de vino, en semejante caso, necesita de 67 á 68; y el agua 80. Pero esta misma agua llegaria á ser fluido elástico en toda suerte de temperaturas, si se suprimiese de encima de su superficie la presion de la atmósfera; siendo esta la causa de que parezca que hierve en el vacío (1146).

No trataremos aquí mas que de los fluidos elásticos permanentes; y de los otros hablaremos al tratar de la naturaleza del agua y de sus efectos.

590 Los fluidos elásticos permanentes son todos compresibles, elásticos, transparentes, sin color [1], invisibles é incondensables en licor por el frio. Los unos existen en la naturaleza sin el socorro del arte, sin embargo de poderse obtener tambien por este medio; los otros no son mas que el producto del arte. Los unos son solubles en el agua, los otros son del todo insolubles en ella; de modo que para ob-

[1] Se debe exceptuar el gas muriático oxigenado (715), que es de un amarillo verdoso.

Digitized by Google

tenerlos se necesita hacer uso de medios diferentes, segun la naturaleza del fluido que se quiera obtener, como diremos pronto.

591 Dividimos estos fluidos en dos clases.

La primera comprehende los que son *vivificantes*, esto es, aquellos que sirven y que son esenciales para la respiracion de los hombres y de los animales, y para la combustion de los cuerpos: tales son el *ayre atmosférico*, y el *ayre puro* ó *vital*, llamado *gas oxígeno*.

592 La segunda clase comprehende los que son *sofocantes*, es decir, aquellos que no pueden servir ni para la respiracion de los animales, ni para la combustion de los cuerpos: tales son todos los demas *gases*.

593 Todos estos gases tienen, como lo hemos dicho ya (587), todas las apariencias del ayre; y tambien tienen muchas propiedades de él, tales como la trasparencia, la invisibilidad, la compresibilidad, la expansibilidad y la elasticidad; siendo esta, sin duda, la razon que tuviéron *Hales*, *Boyle*, *Priestley*, y muchos otros físicos, para dar á todos estos fluidos el nombre de *ayre*. Pero, como difieren mucho de este último por un gran número de otras propiedades, y sobre todo, porque son absolutamente incapaces de mantener la vida de los animales y la combustion de los cuerpos, se pensó, con razon, que era preciso no confundirlos con el ayre; y para expresarlos se adoptó el nombre de *gas* [1], que *Vanbelmont* y otros chímicos anteriores á *Hales* habian dado á aquellos de estos fluidos que eran conocidos en su tiempo; porque el conocimiento ge-

[1] Palabra tomada de los Hebreos, entre los quales significa, la *imparcia* que se separá de un cuerpo.

neral de los *gases* es muy antiguo; como que es anterior á *Paracelso*. Sin hacer distincion de las especies de estos, los señaláron en general los chímicos de aquellos tiempos baxo el nombre de *spiritus sylvestris*, *espíritu silvestre*: *Vanhelmont* sustituyó el nombre de *gas* al de espíritu, y conservó el epiteto *sylvestris*: *Boyle*, *Hales* y otros muchos que le siguiéron, les han dado el nombre de *ayre*. Aunque estos físicos hubiesen observado diferentes propiedades en estos fluidos, sin embargo los han mirado á todos como á uno mismo; pero mas ó ménos viciados con materias heterogéneas. La distincion de sus diferentes especies, y el conocimiento de muchas de sus propiedades, se deben principalmente á *Priestley*, que ha hecho sobre estos gases un considerable número de excelentes experimentos, con un aparato muy sencillo de su invencion, llamado *aparato neumato-chímico*; el qual ha sido adoptado, con razon, por todos los físicos que han trabajado despues sobre esta materia. La descripcion de este aparato, y las maniobras y resultados de estos experimentos han sido publicados por *Priestley*, en una obra en tres tomos, traducida del ingles por *Gibelin*, é intitulada: *Experiences et Observations sur differentes espéces d'air*. Creo no llevará á mal el lector el que incluyamos aquí la descripcion de este aparato, así como la de los instrumentos de que se hace uso para recoger estas sustancias aëriformes, medirlas, mezclarlas, combinarlas las unas con las otras, ó con otras sustancias; y en fin para hacer los experimentos que se dirigen á manifestar las diferentes propiedades de estos fluidos. Hemos dicho arriba (590) que entre los fluidos, los unos son insolubles en el agua y los otros solubles: luego es preciso para extraerlos, dos aparatos: uno con agua pa-

Digitized by Google

ra los que son insolubles en ella, y otro con mercurio para los que no se podrian recibir debaxo del agua.

594 El aparato con agua consiste en un caxon de madera *l m n o* (*fig.* 109), aforrado de plomo, de cerca de 18 pulgadas de ancho, otro tanto de profundidad, y de 1 vara de largo. Al uno de sus lados menores *l m*, en la parte interior, y á cerca de 18 líneas de su borde superior, está colocada entre dos listones una mesilla *e f* con dos agujeros redondos *a*, *c*, de 4 ó 5 líneas de diámetro, y que se ensánchan por la parte inferior en forma de embudos, y con otros oblongos *b*, *d*, de los que veremos el uso dentro de poco. Está colocado este caxon sobre quatro pies *g*, *h*, *i*, *k*, asegurados en él con una rosca, y que sirven para elevar el caxon á una altura cómoda al físico que hace uso de él. Todo así dispuesto, se llena el caxon de agua clara, de modo que llegue esta hasta 10 ó 12 líneas por cima del plano superior de la mesilla *e f*.

595 Preparado todo de este modo, es cosa muy fácil el extraer los gases de las sustancias que pueden producirlos; para lo qual es preciso tener muchas campanas de cristal (*fig.* 110) mas largas que anchas; y que solo tengan de 3 á 4 pulgadas de diámetro para poderlas manejar mas cómodamente, y una altura tal que se las pueda volver fácilmente en el caxon; siendo estos los vasos en los quales se deberá recibir los gases. Supongamos que se quiera recoger el que se desprende por la efervescencia de un carbonate alcalino ó calcareo con los ácidos: se comenzará llenando de agua enteramente en el mismo caxon la campana (*fig.* 110); y despues de haberla vuelto la boca hácia abaxo, se la irá deslizando sobre la mesilla *e f* (*fig.* 109), teniendo cuidado de que su boca no salga del agua, y se la co-

Digitized by Google

locará sobre uno de los agujeros *c* ó *d*. Este vaso permanece así enteramente lleno de agua, la qual se mantiene suspendida en él en virtud de la presion de la atmósfera sobre el agua del caxon. Dispuesto todo como queda dicho, se echa carbonate alcalino ó calcareo en un frasco *a* (*fig.* 111), en cuyo cuello está ajustado un tubo recurvo de cristal *b c d*, y en cuya parte superior hay un agujero redondo, ó un segundo cuello, en el qual se coloca el caño de un embudo *e*, tapado con un tubo pequeño de cristal *f*, untado con cera blanda por la parte inferior: se echa en este embudo ácido, que debe estar muy debilitado con agua, á fin de evitar una efervescencia demasiado pronta y demasiado violenta: se dexa caer una porcion de este ácido sobre el carbonate, levantando un poco el tubo pequeño de cristal *f*: se dexa salir los primeros vapores para quitar el ayre que está en el frasco; y quando se cree que ha salido del todo, se ajusta el cabo *d* del tubo recurvo baxo el agujero *c* ó *d* de la mesilla *f e* (*fig.* 109), sobre la qual está colocada la campana (*fig.* 110), sosteniendo el frasco sobre un velador, mesa ú otra qualquier cosa. Continuando la disolucion y la efervescencia, el gas que se desprende sale con rapidez por el tubo recurvo *b c d* (*fig.* 111); y por su ligereza respectiva, atraviesa el agua contenida en la campana baxo la forma de bolas de ayre, va á colocarse á la parte superior de ella, y en virtud de su elasticidad, hace baxar el agua en la campana, á proporcion que se introduce en ella. Para continuar la operacion, se destapa de tiempo en tiempo el caño del embudo *e*, á fin de introducir de nuevo ácido en el frasco, teniendo cuidado de no dexar entrar ayre alguno en él, y de que continue con esto la efervescencia y el desprendimiento del gas. Se puede por este me-

Digitized by Google

dio extraer la cantidad de gas que se desee obtener.

Todos los gases que se extraen de las diferentes sustancias metálicas ú otras, por medio de los ácidos, se recogen del mismo modo.

596 Con respecto á los gases que son muy solubles en el agua, tales como los gases ácidos ó alcalinos, y que no son otra cosa mas que la misma sustancia que los produce combinada con la materia del calor, no se puede recibirlos en el agua como á los demas; á causa de que se combinarian inmediatamente con ella, convirtiéndose por esta combinacion en la sustancia misma de que se les hubiese sacado: para estos gases pues se necesita el aparato con mercurio. Está construido este aparato baxo los mismos principios que el aparato con agua, con esta diferencia, que á causa del grande precio y del peso excesivo del mercurio, se le hace mucho mas pequeño: su caxon no debe ser ni estar aforrado de metal; sino de loza, porcelana, mármol, ó de piezas de madera dura y compacta, sólida y perfectamente ensambladas. Los vasos en que se ponen las sustancias de que se saca estos gases, son por lo regular unas retortas pequeñas de cristal *a b* (*fig.* 112), al extremo del cuello *b* de las quales se enloda un tubo recurvo de cristal *b c*: se calienta la retorta en un braserillo, ó por medio de la llama de una luz, ajustando el extremo *c* del tubo baxo la campana llena de mercurio, despues de haber dexado salir todo el ayre que estaba en la retorta; con cuyo pequeño grado de calor, la sustancia que se ha puesto al experimento, toma la forma gaseosa y aërea, y pasa así á la campana, haciendo baxar el mercurio que la llena.

597 Si se quiere extraer muchas especies de gases á un mismo tiempo, se puede hacer con los mismos aparatos; siendo este el motivo que hay para

Digitized by Google

hacer en la mesilla *e f* (*fig.* 109) muchos agujeros oblongos *b*, *d*, destinados á introducir el extremo *d* del tubo recurvo de la *figura* 111, sobre el qual se coloca una campana llena de agua ó de mercurio. En este caso, será preciso poner sobre cada campana, á fin de evitar la confusion, un rótulo que indique la especie de gas á que está destinada.

598 Un número grande de campanas, llenas así de gas, y colocadas sobre la mesilla *e f* (*fig.* 109), seria sumamente embarazoso; cuyo inconveniente se puede remediar, conservando el gas que ellas contienen, del modo siguiente: se mete por baxo del líquido del caxon una salvilla ó un platillo, &c. y quando se le tiene sumergido, se coloca sobre él la campana llena de gas de la que se quiere desocupar la mesilla, teniendo cuidado de hacer toda esta operacion dentro del mismo líquido, y se levanta así la campana colocada boca abaxo sobre la salvilla llena de agua, la qual le sirve de apoyo.

599 Si se quiere hacer pasar el gas de un vaso á otro, se llena este del líquido del caxon, y se le coloca perpendicularmente sobre la mesilla *e f*, y sobre uno de los agujeros *a* ó *c*, como hemos dicho que se hace para la extraccion de los gases (595); en seguida se sumerge el vaso que contiene el gas que se quiere trasvasar, y se le inclina suavemente baxo el agujero de la mesilla sobre el qual está colocado el vaso lleno de líquido; en virtud de lo qual sube el gas en forma de bolas, y va á ocupar el sitio del líquido haciéndole baxar. Un poco de habitud hará que esta maniobra sea muy fácil. Con el mismo proceder se puede encerrar gas en botellas para transportarlas á la distancia que se quiera; pero es preciso tener cuidado de taparlas bien ántes de sacar el cuello de ellas del líquido del caxon; de cuyo líquido se deberá dexar una muy pequeña can-

Digitized by Google

tidad en las botellas, y mantenerlas despues en una situacion quasi vertical boca abaxo.

600 Se puede tambien, por este mismo método, mezclar diferentes especies de gases; para lo qual se llena del líquido del caxon un vaso (*fig.* 113), y se le coloca sobre el agujero *a* ó *c* de la mesilla *e f* (*fig.* 109): en seguida se llena, sucesivamente en la forma que hemos explicado arriba (599), de las diferentes especies de gases que se quiere mezclar la pequeña medida (*fig.* 114), y se la introduce debaxo de la campana en que se quiere hacer la mezcla, inclinándola suavemente baxo el agujero de la mesilla sobre la qual está colocada esta campana; por cuyo medio pasa á este vaso ó campana la medida de gas, y va á ocupar la parte superior de él. En esta misma forma se introduce de cada especie otras tantas medidas como se quiere, y se hace así la mezcla en unas proporciones conocidas.

601 Por medio de todos los procedimientos que acabamos de describir, se puede de un modo sencillo y cómodo, como se ve, recoger, conservar, trasvasar, transportar y mezclar las diferentes especies de gases.

602 Hemos dicho arriba (592), que los gases ó fluidos sofocantes componen la segunda clase de los fluidos elásticos.

Dividimos estos gases sofocantes en tres órdenes. La primera comprehende los que no son salinos, es decir, que no son ni ácidos ni alcalinos: la segunda, los que son salinos, esto es, ó ácidos ó alcalinos; y la tercera los que son inflamables, y que se llaman *bidrógenos*.

603 *Primer órden.* Los gases no salinos son tres: á saber, el *gas azótico* ó atmosférico, que se llama tambien *mofeta*; el *gas nitroso*, y el *gas muriático oxígenado*.

Digitized by Google

604 *Segundo órden.* Los gases salinos son en número de cinco: á saber, el *gas ácido carbónico*, el *gas ácido muriático*, el *gas ácido sulfuroso*, el *gas ácido fluórico*, y el *gas amoniacal*, ó alcalino.

605 *Tercer órden.* Los gases inflamables ó hidrógenos son todos de una misma especie; pero hay en ellos muchas variedades: se tiene pues el *gas hidrógeno puro*, cuyas variedades son, el *gas hidrógeno sulfurado*, el *gas hidrógeno fosforado*, el *gas hidrógeno carbonado*, el *gas hidrógeno carbónico*, y el *gas hidrógeno de las lagunas.*

Digitized by Google

606 *Tabla metódica de los fluidos elásticos.*

Fluidos elásticos.

- Vivificantes. . . . CLASE I.
  - Ayre atmosférico. . . . . 1.
  - Ayre puro ó vital, dicho gas *oxígeno*. . . . . 2.
- Sofocantes. . . . CLASE II.
  - No salinos. . . . . *Orden* 1.
    - Gas azótico. . . . . 3.
    - Gas nitroso. . . . . 4.
    - Gas muriático oxígenado. . . . . 5.
  - Salinos. . . . . *Orden* 2.
    - Gas ácido carbónico. . . . . 6.
    - Gas ácido muriático. . . . . 7.
    - Gas ácido sulfuroso. . . . . 8.
    - Gas ácido fluórico. . . . . 9.
    - Gas amoniacal. . . . . 10.
  - Inflamables ó hidrógenos. . *Orden* 3.
    - Gas hidrógeno puro. . . . . 11.
    - Gas hidrógeno sulfurado. . . . . 12.
    - Gas hidrógeno fosforado. . . . . 13.
    - Gas hidrógeno carbonado. . . . . 14.
    - Gas hidrógeno carbónico. . . . . 15.
    - Gas hidrógeno de las lagunas. . . 16.

Digitized by Google

604 *Segundo órden.* Los gases salinos son en número de cinco: á saber, el *gas ácido carbónico*, el *gas ácido muriático*, el *gas ácido sulfuroso*, el *gas ácido fluórico*, y el *gas amoniacal*, ó alcalino.

605 *Tercer órden.* Los gases inflamables ó hidrógenos son todos de una misma especie; pero hay en ellos muchas variedades: se tiene pues el *gas hidrógeno puro*, cuyas variedades son, el *gas hidrógeno sulfurado*, el *gas hidrógeno fosforado*, el *gas hidrógeno carbonado*, el *gas hidrógeno carbónico*, y el *gas hidrógeno de las lagunas.*

Digitized by Google

606 *Tabla metódica de los fluidos elásticos.*

Fluidos elásticos.

- Vivificantes. . . . CLASE I.
  - Ayre atmosférico. . . . . 1.
  - Ayre puro ó vital, dicho gas *oxígeno*. . . . . 2.
- Sofocantes. . . . CLASE II.
  - No salinos. . . . . *Orden* 1.
    - Gas azótico. . . . . 3.
    - Gas nitroso. . . . . 4.
    - Gas muriático oxígenado. . . . . 5.
  - Salinos. . . . . *Orden* 2.
    - Gas ácido carbónico. . . . . 6.
    - Gas ácido muriático. . . . . 7.
    - Gas ácido sulfuroso. . . . . 8.
    - Gas ácido fluórico. . . . . 9.
    - Gas amoniacal. . . . . 10.
  - Inflamables ó hidrógenos. . *Orden* 3.
    - Gas hidrógeno puro. . . . . 11.
    - Gas hidrógeno sulfurado. . . . . 12.
    - Gas hidrógeno fosforado. . . . . 13.
    - Gas hidrógeno carbonado. . . . . 14.
    - Gas hidrógeno carbónico. . . . . 15.
    - Gas hidrógeno de las lagunas. . . 16.

Digitized by Google

607 Como desde aquí en adelante nos hemos de servir de un nuevo idioma, será conducente que el lector tome una nocion preliminar de él, dando un repaso á las sinonimias antiguas y nuevas colocadas al principio del tomo primero.

608 Todos los fluidos elásticos estan compuestos de una base, ya sea simple, ya compuesta, combinada con la materia del calor, que por abreviar se llama *calórico*. En ningun modo estan contenidos por entero estos fluidos en las sustancias de que se hace uso para extraerlos: solo sus bases son las que estan allí contenidas; las quales, al tiempo de la extraccion, se combinan con el calórico, y toman por esto la forma de fluidos elásticos.

Bases de los fluidos elásticos.

609 1. El ayre atmosférico está compuesto de dos fluidos elásticos simplemente mezclados entre sí, de los que el uno es el ayre puro ó vital, llamado *gas oxígeno*, y el otro una mofeta llamada *gas azótico* ó atmosférico; y la proporcion en que se hallan estos dos gases es 28 partes del oxígeno y 72 del azoe. Así, la base del ayre atmosférico está compuesta del *oxígeno y del azoe*.

610 2. La base del ayre puro, ó gas oxígeno, es el principio acidificante, sin el qual no hay ácido ninguno, y al que se le llama por esta razon *oxígeno*, es decir, *generador de los ácidos*.

611 3. La base del gas azótico, es, quando está solo este gas, un ser incapaz de mantener la vida de los animales; y esta es la causa porque se le ha dado el nombre de *azoe*, es decir, privador de la vida. Es verdad que este nombre conviene tambien á todos los fluidos sofocantes; pero como este es el mas comun, y el que nos rodea continua-

Digitized by Google

mente (se verá mas adelante (676) que no nos es inútil), se le ha dado este nombre ántes que á los otros.

612 4. La base del gas nitroso es este mismo *azoe*, combinado con un poco de *oxígeno*.

613 5. La base del gas muriático oxígenado es el *ácido muriático*, sobrecargado de *oxígeno* y desflemado.

614 6. La base del gas ácido carbónico es el *oxígeno* que tiene *carbono* en disolucion; el qual carbono no es otra cosa mas que el carbon en su estado de pureza.

615 7. La base del gas ácido muriático es el *ácido muriático*, privado del agua superabundante á su esencia.

616 8. La base del gas ácido sulfuroso es el *ácido sulfúrico*, conocido baxo el nombre de ácido vitriólico; pero que ha perdido una parte de su *oxígeno*, ó que está sobrecargado de *azufre*; cuyo ácido sulfúrico se ha convertido en ácido sulfuroso, así por lo dicho como por estar privado del agua superabundante á su esencia.

617 9. La base del gas ácido fluórico, conocido baxo el nombre de gas ácido espático, es el *ácido fluórico*, privado del agua superabundante á su esencia.

618 10. La base del gas amoniacal es la *amoniaca*, ó alcali volátil caustico, privado del agua superabundante á su esencia.

619 Estos quatro últimos gases son unos ácidos ó alcalis tan concretos como pueden estarlo, pues que estan privados de toda su agua superabundante.

620 11. La base del gas hidrógeno puro es una sustancia desconocida, á la qual se ha dado el nombre de *hidrógeno*, es decir, *generador del agua*.

621 12. La base del gas hidrógeno sulfurado, conocido baxo el nombre de gas hepático, es el *hi-*

Digitized by Google

CLASE I.

Fluidos elásticos vivificantes.

642 Estos fluidos son aquellos, que no solamente sirven, sino que son esenciales para la respiracion de los hombres y de los animales, y para la combustion de los cuerpos. Tales son el ayre atmosférico, y el ayre puro ó vital, ó gas oxígeno.

1. *Ayre atmosférico.*

643 El ayre de la atmósfera ha sido considerado largo tiempo como un *elemento*, como un ser del que todas las partes, semejantes entre sí, eran simples é indescomponibles. En el dia se tienen pruebas ciertas de que el ayre atmosférico es un compuesto á lo ménos de dos fluidos elásticos muy diferentes (609); á saber, del ayre puro ó vital, fluido absolutamente esencial para la respiracion de los animales y para la combustion de los cuerpos, y de una mofeta llamada *gas azótico*, fluido en el qual se apagan inmediatamente los cuerpos encendidos, y quedan sofocados con prontitud los animales. El primero de estos fluidos, el oxígeno, es destruido ó absorvido por la combustion de un cuerpo qualquiera; el segundo resiste á esta prueba, como lo manifiesta el experimento siguiente.

644 Experimento. Sobre la mesilla *e f* (*fig.* 109) del aparato neumato-chímico, póngase una campana de cristal (*fig.* 110) llena de ayre atmosférico, dentro de la qual haya un cabo de vela encendido, flotando sobre un pedacillo de madera. En el primer instante se enrarecerá con el calor una parte pequeña del ayre, y saldrá por debaxo de la cam-

Digitized by Google

pana; en seguida irá siempre disminuyendo la actividad de la llama de la vela hasta que por último se apague, durante cuyo tiempo irá subiendo en la campana el agua del aparato.

645 Quando todo se haya enfriado ya, y vuelto á la temperatura que exístia ántes de comenzar el experimento, se encontrará cerca de la quarta parte de la capacidad de la campana llena de agua; cuyo líquido es el que ha ocupado el sitio del fluido absorvido; no siendo el resto mas que una mofeta capaz de sofocar los animales, y de apagar los cuerpos encendidos. En efecto, en el ayre bien constituido, sobre 100 partes en volúmen, hay 28 de ayre vital y 72 de mofeta ó gas azótico. La mofeta que queda debaxo de la campana no es pura: en este caso se halla mezclada con otro fluido elástico, del que hablaremos despues (733), que es el gas ácido carbónico, producido siempre por todos los cuerpos que se queman. Pero como este gas es soluble en el agua, y la mofeta no lo es, es fácil proporcionarse la mofeta pura, agitando fuertemente este gas en el agua. Se puede con mas seguridad absorver el gas ácido carbónico por medio del agua de cal, como lo probaremos mas adelante (751).

646 Luego el ayre atmosférico no es un ser cuyas partes todas son homogéneas, pues que las unas quedan absorvidas con la combustion de un cuerpo, y las otras son inalterables á esta prueba. Luego no hay en el ayre atmosférico mas que cerca de una quarta parte que sea propia para la respiracion y para la combustion, en tanto que las otras tres quartas partes no lo son.

Exâminemos ahora separadamente los dos fluidos que componen el ayre atmosférico.

Digitized by Google

2. *Ayre puro ó vital llamado* gas oxígeno.

647 El ayre puro ó vital está compuesto de una base llamada *oxígeno*, combinada con una gran cantidad de la materia del calor ó de calórico (610). Esta base ha sido llamada *oxígeno*, es decir, *generador de los ácidos*, por ser el verdadero principio acidificante, principio sin el qual no hay ácido ninguno.

Este fluido es al que *Priestley* y muchos otros despues de él, han llamado tan impropiamente *ayre deflogisticado.*

648 Se puede extraer este fluido, con el auxílio del calor de muchas sustancias; pero sobre todo del oxído nativo de manganeso, y de los oxídos metálicos que se puede revivificar sin adicion de materia inflamable, tales como los oxídos de mercurio. El precipitado *per se*, que es un oxído de mercurio, y el precipitado roxo, ó el mercurio calcinado por el ácido nítrico, dan una grande cantidad de este fluido, como se puede ver en el experimento siguiente.

649 Experimento. En un matras pequeño *a b* (*fig.* 115), á cuyo cuello esté adaptado un tubo recurvo *c d*, échese una onza de oxído de mercurio roxo por el fuego: pongásele á calentar sobre un bráserillo *e*; y despues que haya salido todo el ayre atmosférico que llenaba el matras, encáxese la extremidad *d* del tubo recurvo baxo una campana llena del líquido del aparato (*fig.* 109), y colocada sobre la mesilla *e f*, por cima del agujero oblongo *b* ó *d.*

650 A proporcion que el mercurio se revivificará y volverá fluido, se verá desprender y pasar á la campana un fluido compresible, elástico, trans-

Digitized by Google

parente, sin color, é invisible, que es el ayre mas puro y mas respirable que se pueda obtener, en una palabra, el ayre puro ó vital, ó gas oxígeno.

651 Se le obtendrá con el mismo proceder del oxído nativo de manganeso, ó del minio, que es un oxído de plomo rociado de ácido nítrico; en cuyo último caso es este ácido el que proporciona la mayor parte del oxígeno.

652 Para entender bien estos efectos, es preciso saber que este fluido no está contenido por entero en estos cuerpos; pues que no hay en ellos mas que la base que es el oxígeno; á causa de que los metales no se calcinan, ó queman mas que combinándose con el oxígeno, que en ellos se hace sólido, y los aumenta su peso. Este oxígeno es en seguida echado por el calor, el qual combinándose con él, le hace pasar al estado de fluido elástico; y he aquí el ayre puro. Durante este tiempo pierde el metal el oxígeno que le habia reducido al estado de oxído, vuelve á tomar su brillo metálico, y pierde el peso que habia adquirido al hacerse oxído.

653 Luego todas las combustiones no son mas que una combinacion del oxígeno con el cuerpo combustible: luego no es el cuerpo combustible el que se descompone, sino el ayre puro. Así, se podria decir que solo el ayre puro es el que se quema en todas las combustiones.

654 Dimana tambien el ayre puro de las plantas verdes expuestas al sol con agua, y no de las flores ni de las raices, como quiere *Ingben-Houze*; en cuya operacion descomponen el agua las hojas de los vegetales (813), absorviendo el hidrógeno, una de sus partes constituyentes, y dexando desprender, en el estado de ayre puro al oxígeno, otra parte constituyente de este líquido. La luz contribuye sin duda á esta descomposicion, pues que no se

Digitized by Google

verifica sin su contacto como lo ha probado *Ingben-Houze.*

655 El ayre puro que se obtiene de diferentes sustancias está mezclado por lo regular con un poco de mofeta; no habiendo otro que esté esento de esto mas que el que se saca del oxído de mercurio roxo por el fuego, del oxído nativo de manganeso, y de las plantas verdes.

656 El ayre puro es un poco mas pesado que el ayre atmosférico; pues que su peso específico es al del ayre como 108,35 es á 100,00; y al del agua destilada, como 13,3929 es á 10000,0000. De modo que la pulgada cúbica de este fluido pesa ½ grano, y el pie cúbico 1 onza y 4 dracmas. El ayre atmosférico pesa ménos que esto; pues que su peso específico comparado con el del agua destilada, es como 12,3609 es á 10000,0000. De modo que la pulgada cúbica de este ayre no pesa mas que 0,4601 de grano; y el pie cúbico 1 onza, 3 dracmas y 3 granos.

657 El ayre puro no manifiesta señal alguna de acidez, aunque sea el generador de todos los ácidos, y el principio sin el qual no hay ácido alguno; pues que no enroxece los colores azules de los vegetales, como lo hacen todos los ácidos.

658 EXPERIMENTO. Echese un poco de tintura de tornasol, dilatada en agua, en un tubo lleno de ayre puro; y se verá que no varía el color.

659 El ayre puro solo no es absorvido por el agua, por no ser de ningun modo soluble en ella; pero sí lo es quasi enteramente por el gas nitroso, con el qual se combina, como lo veremos al tratar del gas nitroso (691): y esta combinacion es soluble en el agua, y forma el ácido nitroso; por estar compuesto este ácido de la base del gas nitroso, combinada con el oxígeno, disuelto el todo en el agua (635).

Digitized by Google

660 El ayre puro sirve perfectamente para la respiracion; pues que los animales viven en él mucho mas tiempo que el que viven en una misma cantidad de ayre atmosférico.

661 EXPERIMENTO. Si se encierra un animal en un vaso grande lleno de ayre puro, vivirá allí cerca de quatro veces tanto tiempo como hubiera vivido si este vaso hubiera estado lleno de ayre atmosférico; por la razon de que el animal encuentra en este vaso cerca de quatro veces otro tanto fluido propio para la respiracion, como hubiera encontrado si el vaso hubiera estado lleno de ayre atmosférico.

662 Luego el ayre puro es el único fluido que hay propio para mantener la vida de los animales [1]. He aquí la razon: para mantener la vida de los animales se necesita mucho calórico; y el ayre puro es el único que pueda proporcionarle; 1.° porque contiene mucho mas calórico que los otros fluidos elásticos; 2.° porque su base tiene una grande afinidad con el carbono y el hidrógeno, que no tienen las bases de los otros gases. Ahora, una cierta cantidad de hidrógeno carbonado se desprende de la sangre en los pulmones, luego el ayre puro respirado se combina con estas dos sustancias, el hidrógeno y el carbono. Una parte de este ayre, al combinarse con el carbono, forma, abandonando una parte de su calórico, gas ácido carbónico (esto puede mirarse como una verdadera combustion del carbono): otra parte del ayre puro se combina con el hidrógeno, y forma agua, abandonando todo su calórico; cuyas dos porciones de calórico aban-

[1] Un hombre consume, por un término medio, un pie cúbico de ayre en cada hora: consume ménos quando está en ayunas: mas quando ha comido: aun mas quando trabaja; y tanto mas quanto mas trabaja.

Digitized by Google

donadas son las que mantienen el calor animal y la vida. He aquí las pruebas de todo esto.

Se tiene observado que el gas ácido carbónico, formado durante la respiracion, no es mas que cerca de las quatroquintas partes del volúmen del ayre puro consumido: luego una porcion de este ayre que entra en los pulmones, no sale en el estado elástico; la base pues de esta porcion es la que, combinándose con el hidrógeno, forma agua: luego este hidrógeno abandona el carbono, quien, combinándose con el ayre puro, forma el gas ácido carbónico espirado.

Se sabe que la sangre toma un color cárdeno y obscuro quando pasa á las venas capilares; cuyo color proviene de que se carga allí de hidrógeno carbonado; por la razon de que si se pone en contacto sangre arterial con gas hidrógeno, absorve este fluido, y toma el color cárdeno y obscuro de la sangre venosa, ocasionado sin duda por el carbono.

Se sabe tambien que quando la sangre atraviesa los pulmones, se vuelve de un hermoso color roxo; lo qual proviene de que se desprende allí de una parte de su hidrógeno carbonado; porque si se pone en contacto sangre venosa con el ayre puro, le convierte, en parte, en gas ácido carbónico, y adquiere el color roxo; cuyos efectos se verifican aunque se interponga una vexiga delgada entre la sangre y el gas: luego puede verificarse esto del mismo modo en los pulmones, al traves de los vasos sanguineos.

Luego, 1.° la sangre arterial padece en las venas esta variacion de color, combinándose con una nueva cantidad de hidrógeno carbonado. 2.° La sangre venosa, al pasar por los pulmones, vuelve á tomar el color roxo; porque cede al ayre puro una porcion de su hidrógeno carbonado. Y como el gas

Digitized by Google

hidrógeno, sacado de las materias animales, tiene carbono en disolucion, resulta de esto que durante la respiracion, se combina el ayre puro con el hidrógeno carbonado desprendido de la sangre; y forma *gas ácido carbónico con el carbono*, y *agua con el hidrógeno.* Acabamos de decir aquí arriba, que el calor animal resulta del calórico abandonado, en estos dos casos, por el ayre puro. La prueba de esto es 1.° que no hay mas animales con calor que los que respiran el ayre habitualmente; y que aquellos cuyos pulmones son mas considerables relativamente á su volúmen, tienen tambien mayor grado de temperatura.

Luego en el acto de la respiracion cumple el ayre puro con quatro funciones: 1.ª *proporciona calórico*, que repara la pérdida del calor que sufrimos continuamente de la parte de la atmósfera y de los cuerpos que nos rodean: 2.ª *proporciona agua*, que humedece la sangre: 3.ª *absorve carbono*, del que la abundancia podria ser dañosa; y 4.ª *proporciona á la sangre arterial el color roxo*, quitándole una parte de su hidrógeno carbonado.

663 Pero, pues que en la respiracion se desprende del ayre puro una muy grande cantidad de calórico, parece que este fluido seria nocivo á los animales que le respirasen solo durante un cierto tiempo, enrareciendo demasiado su sangre, y aumentando por esto la rapidez de su circulacion; lo qual podria darles una calentura ardiente, y ocasionar una inflamacion en los pulmones.

664 El ayre puro es el único fluido elástico en el qual pueden arder los cuerpos; porque en el ayre atmosférico en el qual arden tambien los cuerpos, no hay mas que el ayre puro que se encuentra allí que sea propio para la combustion, á causa de que la combustion no es mas que una combinacion del

Digitized by Google

oxígeno con el cuerpo combustible (653). Pero quando el ayre puro está desprendido de todo otro fluido, se hace la combustion en él con mucho calor y mucha luz; cuyos dos fenómenos son debidos á la separacion rápida de la materia del calor ó calórico que toma el estado de libertad; dexando la base de este ayre, á proporcion que esta base (el oxígeno) se fixa en el cuerpo que se quema.

665 EXPERIMENTO. Sumérjase una buxía encendida en un vaso lleno de ayre puro; y se verá que la llama de esta buxía se hace mas grande, mas viva, mas ardiente y mas luminosa; pero la combustion de la buxía es tres ó quatro veces mas rápida.

666 EXPERIMENTO. Sumérjase en un vaso lleno de ayre puro un pedazo de madera, del que una pequeña parte esté encendida; y se verá que esta madera se inflama inmediatamente, y se quema con una rapidez increible.

667 EXPERIMENTO. Póngase en el tapon de una botella un arambre delgado de hierro, arrollado en espiral, y en cuya extremidad haya un pedazo de yesca: llénese esta botella de ayre puro, y sumérjase allí el arambre despues de haber encendido la yesca: el arambre, encendido por medio de la yesca, se funde y abrasa muy rápidamente, echando chispas semejantes á las centellas ó estrellas de artificio [1].

668 Si se sopla el fuego con el ayre puro se aumenta considerablemente su actividad, como se ha probado por *Priestley* y *Lavoisier*. Este último hizo fundir perfectamente el platino mediante este procedimiento, en ménos de un medio minuto, lo

[1] *Nota.* Será acertado hacer una canaladura en el tapon, á fin de que no tape exâctamente la botella, para evitar la rotura de ella.

Digitized by Google

que no se ha podido aun hacer hasta aquí con los espejos ustorios mas fuertes.

669 Luego el ayre puro está compuesto de oxígeno combinado con una grande cantidad de calórico; y á mas, segun algunos, con la luz. En la respiracion pierde el ayre puro una parte de su calórico que se separa de él para el mantenimiento de la vida del animal (662); y este ayre puro, despojado así de una parte de su calórico, se convierte en gas ácido carbónico, combinándose con el carbono que se halla en la sangre y en los pulmones; porque para que el gas ácido carbónico tenga la forma gaseosa, no necesita de una cantidad tan grande de calórico como necesita el ayre puro. De modo que lo que el animal espira, es gas azótico (673), mezclado con gas ácido carbónico (733).

670 La base del ayre puro ó el oxígeno es una de las partes constituyentes del agua (640); cuya base, combinada con la del gas hidrógeno ó inflamable, forma el agua. Veremos esto claramente probado mas adelante (823 *y siguientes*).

CLASE II.

Fluidos elásticos sofocantes.

671 Estos fluidos son aquellos que no pueden servir para la respiracion de los animales, ni para la combustion de los cuerpos (592). Tales son todos los gases de que vamos á hablar.

Digitized by Google

ÓRDEN I.

Gases no salinos.

672 Son aquellos que no son ni ácidos ni alcalinos (603).

3. *Gas azótico.*

673 El gas azótico ó atmosférico, que *Lavoisier* ha señalado con el nombre de *mofeta*, es la parte no respirable de la atmósfera, de la que forma poco mas ó ménos las tres quartas partes (645). Este fluido es al que *Priestley* habia llamado *ayre flogisticado*, porque creyó que no era mas que ayre alterado por el flogisto desprendido de los cuerpos en combustion, ó de las materias odoríferas, &c. Pero está bien probado ahora que este fluido está todo formado en la atmósfera, y que queda entero á proporcion que el ayre puro es absorvido.

674 El gas azótico está compuesto de una base llamada *azoe* (611), combinada con el calórico; á la qual se le ha dado el nombre de *azoe*, es decir, privador de la vida, porque los animales no pueden vivir en este fluido quando está solo.

675 El gas azótico es el residuo de la respiracion de los animales, de la combustion de los cuerpos, y de la putrefaccion, porque en todos estos casos es absorvido ó destruido el ayre puro. En la respiracion, permanece para el mantenimiento de la vida una porcion del calórico del ayre puro; y el oxígeno, combinándose con la materia carbonosa, que los químicos pretenden hallarse en la sangre y pulmones, y que llaman *carbono*, se convierte en el gas ácido carbónico que los animales expiran conjuntamente con el gas azoe (662). En la combus-

Digitized by Google

tion (653), y la putrefaccion (763), se combina en parte el oxígeno con el cuerpo que arde ó que se corrompe; y el resto de este oxígeno se combina con el carbono que producen estas sustancias: de adonde se sigue, que en todos estos casos, el gas azótico está mezclado con gas ácido carbónico, como lo hemos enunciado arriba (645).

676 Hay muchos medios de obtener el gas azótico puro. El mas usado es el proceder de *Scheele*, que consiste en exponer sulfureto líquido á una cantidad determinada de ayre atmosférico baxo campanas de cristal: el sulfureto absorve poco á poco el oxígeno del ayre atmosférico; y quando la absorcion está completa, queda puro el gas azótico. Se le obtiene tambien, segun el descubrimiento de *Berthollet*, de la Academia de las Ciencias, tratando la carne muscular, ó la parte fibrosa de la sangre bien lavada, con el ácido nitroso, en el aparato neumatochímico, porque la base de este gas entra en la composicion de las carnes, y sirve para animalizarlas. Pero es preciso que las materias animales esten bien frescas; porque si estan alteradas, producen gas ácido carbónico mezclado con el gas azótico.

677 Se hallará tambien puro este gas en el residuo del ayre que ha servido para la oxidacion de los metales, y del ayre que ha estado mezclado en justa proporcion con el gas nitroso; por la razon de que los metales y el gas nitroso se combinan con el oxígeno, base del ayre puro; no quedando despues de esto mas que el gas azótico.

678 Mr. *Fourcroy*, de la Academia de las Ciencias, ha descubierto que las vexigas nadaderas de los peces estan llenas de este gas; y que basta para recogerle el romper estas vexigas baxo de campanas llenas de agua.

679 El gas azótico es un poco mas ligero que

Digitized by Google

el ayre atmosférico; pues que su peso específico es al del ayre, como 96,31 es á 100,00; y al del agua destilada como 11,9048 es á 10000,0000; de modo que la pulgada cúbica de este fluido pesa 0,4444 de grano; y el pie cúbico 1 onza, 2 dracmas y 48 granos; cuyo exceso de ligereza se puede probar con el experimento siguiente.

680 Experimento. Póngase dos buxías encendidas de diferentes alturas baxo una campana de cristal llena de ayre, y de modo que este fluido no pueda renovarse en ella: á proporcion que las buxías irán gastando el ayre puro ó vital se apagarán; pero la mas alta será la primera que se apagará; prueba de que el gas se queda en lo alto: luego es mas ligero.

681 Quando el gas azótico es puro, no tiene olor ni sabor alguno sensible.

682 Tampoco es soluble en el agua, ó por lo ménos muy poco.

683 Experimento. Introdúzcase en un tubo largo de cristal (*fig.* 113), dividido en partes iguales por medio de unas señales hechas con un diamante, tres ó quatro veces la medida (*fig.* 114) llena de este gas: muévase en seguida con fuerza este tubo, teniéndole boca abaxo en el agua del caxon (*fig.* 109); y se verá que su volúmen no disminuye sensiblemente.

684 El gas azótico no da señal alguna de acidez; pues que no enroxece los colores azules de los vegetales.

685 Experimento. Echese en un tubo lleno de este gas un poco de tintura de tornasol dilatada en agua; y se verá que no varía nada el color.

686 Tampoco precipita la cal disuelta en el agua.

687 Experimento. Echese en un tubo lleno de

Digitized by Google

de este gas un poco de agua de cal; y se verá que permanece clara y limpia, y que no hay cal ninguna precipitada, ni formacion alguna de greda.

688 El gas azótico apaga súbitamente los cuerpos encendidos; y mata con mucha precipitacion y fuerza á los animales que se sumerge en él.

689 EXPERIMENTO. Sumérjase en un vaso lleno de este gas un animal ó una buxía encendida; y se verá que el animal queda sófocado prontamente, y la buxía apagada en el momento.

690 El gas azótico se restablece y vuelve respirable con la vegetacion de las yerbas, hojas de árboles, &c. por la razon de que estos vegetales producen el ayre puro, absorviendo el hidrógeno del agua (640 y 815) que sirve para la vegetacion, y dexando libre el oxígeno. En efecto, si con 72 partes de este gas se mezcla 28 partes de ayre puro, se hará con esta mezcla un ayre semejante al de la atmósfera, y respirable como él (645).

El azoe es uno de los principios esparcido con mas abundancia en la naturaleza. Combinado con el calórico, forma el gas azótico, el qual permanece tal constantemente, y forma cerca de las tres quartas partes del fluido que respiramos: combinado con el hidrógeno forma la amoniaca; con el oxígeno forma ó el oxído nitroso, ó los ácidos nitroso ó nítrico, segun su grado de oxígenacion; y combinado con el carbono, el fósforo, ó el azufre, forma unos azotates; por ser susceptibles estas tres sustancias de disolverse en el gas azótico.

Es tambien el azoe uno de los elementos que constituyen esencialmente las materias animales; en las quales está combinado con el carbono y el hidrógeno, y algunas veces con el fósforo; el todo unido con una cierta porcion de oxígeno que le pone en el estado de oxído, ó tambien en el de ácido,

Digitized by Google

segun el grado de oxígenacion.

Luego la naturaleza de las materias animales puede variar, como lo hace la de las materias vegetales, de tres modos: 1.° por el número de las sustancias que entran en la combinacion del radical: 2.° por su proporcion: 3.° por el grado de oxígenacion.

Todo nos conduce á creer que el azoe es un ser simple y elemental; por lo ménos aun no ha sido descompuesto; y este motivo es suficiente para mirarle como elemento.

4. *Gas nitroso.*

691 El gas nitroso ha sido descubierto por *Hales*; pero *Priestley* ha dado á conocer la mayor parte de sus propiedades. Este gas no exíste en la naturaleza sin el socorro del arte: es una de las partes constituyentes del ácido nitroso; ó, por mejor decir, es el mismo ácido nitroso, pero privado de la mayor parte de su oxígeno, lo que hace que cese de ser ácido. Está pues compuesto de la misma base que el ácido nitroso (que es azoe (612) con poco oxígeno en el estado de gas), combinada con el calórico. En este estado no es soluble en el agua; pero si se le suministra oxígeno, combinándose con él, llega á ser ácido, y muy soluble en el agua. Si con una parte de azoe se mezcla dos partes de oxígeno, resulta un oxído nitroso que es la base del gas nitroso: si se mezcla tres partes de oxígeno, resulta el ácido nitroso fumante; y en fin si se mezcla quatro partes de oxígeno, resulta el ácido nítrico blanco: estos dos últimos son muy solubles en el agua; pero el primero no lo es en modo alguno.

692 Es fácil el convencerse de que la base del ácido nitroso es azoe que tiene oxígeno; pero no has-

Digitized by Google

ta la saturacion, que formaria ácido nítrico; es fácil el convencerse digo, por la análisis, y por la síntesis. 1.° Por la análisis: se puede descomponer el ácido nitroso, y reducirle desde luego al estado de gas nitroso haciéndole obrar sobre un metal, como por exemplo, el cobre, que le quita una gran parte de su oxígeno; despues de lo qual se expone este gas nitroso sobre sulfureto alcalino, que le quita lo que le resta de oxígeno; y no queda mas que gas azoe: luego, &c. 2.° Por la síntesis: *Cavendish* formó el ácido nitroso, exponiendo á la accion de las chispas eléctricas una mezcla de 7 partes de ayre puro y de 3 partes de gas azótico. Luego la base del gas nitroso es azoe combinado con un poco de oxígeno.

693 Luego el gas nitroso se desprende del ácido nitroso que se hace obrar sobre materias combustibles. Estas materias se combinan con mas ó ménos de su oxígeno, en tanto que su base ó el azoe, que retiene una parte del oxígeno, combinándose con el calórico, forma el gas nitroso.

694 Se extrae pues este gas del ácido nitroso por medio del hierro, del cobre, del laton, del estaño, de la plata, del mercurio, del bismuto y del nickel; y aun del ácido nítrico, que está en el ácido nitro-muriático, conocido baxo el nombre de *agua regia*, por medio del oro y del antimonio.

695 Se le extrae tambien del mismo ácido nitroso por medio del espíritu de vino, de los éteres, de los aceytes, de las resinas, de las gomas, de los carbones, del azucar, &c.

696 Sus propiedades son las mismas, qualquiera que sea la sustancia de que se le extraiga; pero se obtiene lo mas por medio de los metales. Hay no obstante algunos de estos por medio de los quales no

Digitized by Google

se extrae mas que gas azótico, á causa de que se apoderan de todo el oxígeno del ácido nitroso de que se hace uso.

697 EXPERIMENTO. Póngase en un frasco, cuyo tapon esté atravesado con un tubo recurvo (*fig.* 111), un poco de arambre de cobre arrollado en espiral á manera de tirabuzon: llénese en seguida este frasco de ácido nitroso debilitado con agua; y despues de haberle tapado bien, encáxese la extremidad *d* del tubo recurvo en el agujero oblongo *b* ó *d* de la mesilla *e f* (*fig.* 109), sobre el qual agujero se habrá colocado una campana llena de agua.

698 Se excitará en el frasco una fermentacion acompañada de calor; y en tanto que el cobre se disuelve; pasará á la campana un fluido aëriforme que es gas nitroso.

699 El mismo efecto se lograría con otro metal; pero es bueno el llenar el frasco de ácido, porque si quedara algun ayre en él, el gas, al desprenderse, se combinaría con el ayre puro; y esta combinacion disolviéndose en el líquido (707), ocasionaria un vacío que permitiria la entrada en el frasco, por el tubo recurvo, al agua del depósito.

700 El gas nitroso es un poco mas pesado que el ayre atmosférico; pues que su peso específico es al del ayre como 105,35 es á 100,00; y al del agua destilada como 13,0179 es á 10000,0000. De modo que la pulgada cúbica de este fluido pesa 0,4860 de grano, y el pie cúbico 1 onza, 3 dracmas y 48 granos.

701 El gas nitroso bien puro no es nada soluble en el agua, como se puede ver sujetándole á la misma prueba que la que hemos indicado arriba (683).

702 El gas nitroso no da señal ninguna de acidez; pues que no enrojece el color azul de los vege-

Digitized by Google

tales, tal como la tintura de tornasol, á ménos que no esté mezclado con ayre; porque entónces toma alguna acidez. (706).

703 EXPERIMENTO. Si se hace pasar esta tintura por este gas, el color no variará nada.

704 El gas nitroso apaga los cuerpos encendidos, pero si se sumerge en él una luz, da á la llama un color verde ántes de apagarla.

705 Hace perecer prontamente las plantas y los animales que se sumerge en él.

706 Quando se le mezcla con el ayre de la atmósfera, se vuelve rutilante, y tiene el olor del espíritu de nitro, como es fácil asegurarse de ello esparciendo un poco en el ayre; en cuyo caso absorve la parte respirable de él, se combina con ella, y se convierte en ácido nitroso.

707 EXPERIMENTO. Introdúzcase en el tubo largo de cristal, dividido en partes iguales (*fig.* 113), dos medidas de ayre atmosférico, y despues una medida de gas nitroso: se verá inmediatamente volverse rutilante, y calentarse la mezcla; y como esta combinacion, que es verdaderamente ácido nitroso, es muy soluble en el agua, subirá esta en el tubo á proporcion que la mezcla se disuelva en ella; en términos que de las tres medidas se disolverá una y media, si el ayre es de buena calidad; y lo que quede no es mas que gas azótico. El calor producido en esta ocasion se debe al calórico de estos fluidos que toma el estado de libertad.

708 EXPERIMENTO. Si en lugar de ayre atmosférico se mezcla ayre puro con el gas nitroso, á saber, dos medidas de gas y una medida de ayre puro, la mezcla se disolverá quasi enteramente en el agua.

709 Luego se puede juzgar de la salubridad del ayre por medio de este gas; á causa de no combi-

Digitized by Google

narse este mas que con el oxígeno ó base del ayre puro, que es la única parte respirable de la atmósfera: luego se debe considerar el ayre probado de este modo, tanto mas propio para la respiracion, quanto mayor sea el volúmen de él absorvido: pero como el gas nitroso tiene mas ó ménos azoe, no es perfectamente exâcta esta prueba.

710 El agua que ha disuelto esta mezcla de gas nitroso y de ayre puro, es ácido nitroso en licor, tanto mas fuerte quanto ménos agua hay. 1.° Es ácida este agua, por la razon de que enroxece los colores azules de los vegetales.

711 Experimento. Echese un poco de este agua en la tintura de tornasol dilatada ya en agua; é inmediatamente se volverá roxo el color azul.

712 2.° Esta mezcla de gas nitroso y de ayre puro es un ácido nitroso; por la razon de que se une á los alcalis, y forma con ellos nitros detonantes.

713 Experimento. Póngase en el fondo de una campana de cristal, una muñequilla de gasa llena de carbonate amoniacal concreto: colóquese esta campana sobre la mesilla *e f* (*fig.* 109) del aparato neumato-chîmico de agua; de modo que la campana tenga sus dos tercios llenos de ayre atmosférico, y el otro lleno de agua: introdúzcase en seguida el gas nitroso en esta campana; y la mezcla aparecerá primero rutilante, efecto de la combinacion de este gas con la parte respirable del ayre; y por cuya combinacion se convierte el gas en ácido nitroso: despues se verá muchos vapores blancos, que prueban la combinacion de este ácido con el carbonate amoniacal; y cuyos vapores se condensan despues y se cristalizan. Recogidos estos cristales, y puestos sobre carbones encendidos, se esparcen y dilatan; luego estos cristales son nitro.

714 No se verificarian estos efectos si se pusie-

Digitized by Google

se el carbonate amoniacal en el gas nitroso solo, á causa de que no es ácido.

5. *Gas muriático oxígenado.*

715 El gas muriático oxígenado, que es el ácido muriático deflogisticado de *Scheele*, baxo la forma gaseosa, es el *gas ácido muriático*, de que hablaremos mas adelante (765); pero sobrecargado de oxígeno y desflemado (613).

716 Se obtiene este gas haciendo calentar y evaporar el ácido muriático, en tanto que obra sobre una sustancia que tenga oxígeno, como por exemplo el oxído nativo de mangeneso.

717 EXPERIMENTO. Póngase en una retorta pequeña de cristal *a b* (*fig.* 112), 14 ó 17 dracmas de oxído nativo de manganeso; échese encima 28 ó 34 dracmas de ácido muriático; hágase calentar la retorta sobre un braserillo, y quando parezca que todo el ayre de la retorta ha salido ya, se encaxará su pico baxo una campana llena de mercurio, ó tambien de agua; porque aunque este gas sea soluble en el agua, se disuelve muy poco en ella, por la razon de que se satura de él prontamente el agua; y en este caso el gas excedente á la saturacion del agua, pasa á la parte superior de la campana, haciendo baxar el agua. Luego se excita una viva fermentacion en la retorta, durante la qual sale convertido en gas el ácido muriático; pero sobrecargado del oxígeno que roba al oxído de manganeso, por tener con él una afinidad muy grande.

718 Luego está compuesto este gas del gas ácido muriático, y de un exceso de oxígeno; siendo este oxígeno en exceso el que le quita, no obstante ser el principio acidificante, quasi toda su acidez, y le hace ménos soluble en el agua; cosa que es

muy dificil de explicar. Hemos visto (710 y *siguientes*) que un exceso de oxígeno, añadido al gas nitroso, produce en él un efecto contrario; porque le da la acidez que no tenia ántes, y le hace del todo soluble en el agua. Seria dificil el decir de adonde proceden estos dos efectos opuestos; pero son dos hechos muy constantes que debemos admitir, aunque ignoremos la causa de ellos.

719 La prueba de que el gas muriático oxígenado no es ácido, ó por lo ménos lo es muy poco, está en que no se combina nada ó quasi nada con los álcalis, y en que no tiene fuerza para sacar al ácido carbónico de las diferentes bases con las quales está combinado; lo que no obstante pueden hacer todos los ácidos que conocemos, por debilitados que esten.

720 El gas muriático oxígenado no es invisible como lo son los demas gases; á causa de ser de un amarillo verdoso que le hace distinguir bien. Tiene este gas un olor fuerte y picante, muy dañoso para la respiracion, porque excita una tos violenta, que puede causar un fluxo de sangre.

721 Este gas apaga los cuerpos encendidos, y hace perecer muy prontamente á los animales que se sumerge en él.

722 Acabamos de decir (718 y 719) que no es ácido el gas muriático oxígenado: con efecto no enroxece los colores azules de los vegetales, como lo hubiera hecho si no se le hubiera sobrecargado de oxígeno.

723 Experimento. Echese un poco de tintura de tornasol en un tubo lleno de este gas; y se verá que el color no se vuelve roxo, pero sí que desaparece enteramente.

724 Por la razon de que el gas muriático oxígenado quita el color á las telas teñidas, al xarabe

Digitized by Google

de violetas, á las flores, &c. y reduce todos estos cuerpos al color blanco.

725 EXPERIMENTO. Póngase un ramillete de flores de violeta en una campana de cristal llena de este gas, y colocada sobre el aparato de agua ó de mercurio; y se verá que quedan inmediatamente sin color. Es tan pronto este efecto, sobre todo quando se hace uso del aparato de mercurio, que parece que se ha quitado instantaneamente el ramillete de flores azules, y que se ha sustituido á él otro de flores blancas. No es tan pronto el efecto con el aparato de agua, á causa de que la adherencia de esta á los pétalos de la flor retarda un poco el contacto inmediato del gas con ellos.

726 Este gas quita el color del mismo modo, y blanquece el lienzo, la cera amarilla, la seda, &c.; siendo el exceso de oxígeno el medio por el qual produce estos efectos; en términos que si pierde este exceso de oxígeno, se vuelve gas ácido muriático simple, el qual es entónces soluble del todo en el agua.

727 El gas muriático oxígenado tiene la propiedad de descomponer la amoniaca, la qual puede servir por consequencia para preservarse de los efectos dañosos de este gas, de que hemos hablado arriba (720); á causa de que su oxígeno excedente se combina con el hidrógeno de la amoniaca, y forma agua; y la mofeta ó el azoe se halla libre. Hemos dicho ántes (639) que la amoniaca está compuesta de una parte de hidrógeno y de seis partes de azoe, disuelto el todo en el agua.

728 El gas muriático oxígenado no es tan soluble en el agua como lo es el gas ácido muriático simple, el qual no puede en modo alguno ser recogido debaxo del agua; sin embargo, es soluble en el

agua hasta un cierto punto el gas ácido muriático simple (717), y forma entónces el ácido muriático oxígenado en licor, que es el verdadero disolvente del oro, del platino, &c.

729 Experimento. Póngase unas hojas de oro batido en el ácido muriático oxígenado, es decir, en el agua que se ha saturado de gas muriático oxígenado; y quedarán prontamente disueltas en ella.

730 El mismo agente es el que disuelve el oro, en el ácido nitro-muriático ó agua regia; á causa de que el agua regia es una mezcla de ácido muriático y de ácido nítrico (636). En esta mezcla se combina el ácido muriático (cuya base tiene una grande afinidad con el oxígeno) con el oxígeno del ácido nítrico, convirtiéndose, en virtud de esto, en ácido muriático oxígenado; y la base del ácido nítrico queda libre, de modo que en este licor no queda tal vez nada de ácido: el ácido nítrico ha perdido su acidez, perdiendo su oxígeno; y el ácido muriático ha perdido la suya, combinándose con el oxígeno del ácido nítrico: dos hechos que como hemos dicho arriba (718), son difíciles de explicar.

731 El ácido muriático oxígenado se descompone poco á poco con el contacto de la luz, que desprende de él el oxígeno excedente; por lo qual vuelve á pasar al estado de ácido muriático puro; y este oxígeno excedente, así desprendido, forma ayre puro combinándose con el calórico.

ORDEN II.

Gases salinos.

732 Estos gases son aquellos que son ó ácidos ó álcalinos (664). Entre ellos solo hay uno que se

Digitized by Google

encuentre naturalmente, y es el gas ácido carbónico; y todos los otros no son mas que el producto del arte.

6. *Gas ácido carbónico.*

733 El gas ácido carbónico es de todos los gases el que hace mas tiempo que se conoce. *Paracelso* y los antiguos le llamaban *espíritu silvestre*, *spiritus sylvestris*. *Vanhelmont* le llamó despues *gas silvestre*. Se llamó despues de esto *ayre fixo* por *Black*, *Boyle*, *Hales*, *Priestley*, *Lavoisier*, &c.; *ácido mefítico*, por *Bewly*; *gas mefítico*, por *Mucquer*; *ácido aëreo*, por *Bergman*. En fin *Lavoisier* le ha llamado *gas ácido gredoso*; y últimamente, *gas ácido carbónico*, á causa de estar compuesto de oxígeno combinado con una materia carbonosa que tiene en disolucion (614), y en la proporcion de cerca de 72 partes de oxígeno, y 28 partes de materia carbonosa, llamada *carbono* por los modernos.

734 En efecto si en un vaso cerrado se quema carbon en ayre puro, lo que queda despues de la combustion, es gas ácido carbónico.

735 EXPERIMENTO. En una campana de cristal llena de ayre puro, y colocada sobre el aparato neumato-chímico de mercurio, póngase en un vaso pequeño una cantidad determinada de carbon, privado de gas hidrógeno por una calcinacion preliminar en vasos cerrados; y que haya sobre el carbon ½ de grano de yesca, cubierta con un átomo de fósforo. Enciéndase el fósforo con un hierro recurvo hecho ascua, que se hará pasar al través del mercurio: el fósforo pegará fuego á la yesca, la yesca al carbon, y la inflamacion será muy rápida y acompañada de mucha luz. En este caso se hallará en la campana gas ácido carbónico, cuyo peso será igual al peso del ayre puro empleado, mas, al peso que ha-

Digitized by Google

trá perdido el carbon; á causa de que si se introduce debaxo de esta campana un peso conocido de alcali caûstico en licor, absorverá el gas ácido carbónico formado en esta combustion; y aumentará su peso una cantidad igual á los pesos de que acabamos de hablar.

736 En esta operacion, el oxígeno, cuya combinacion con el calórico formaba el ayre puro, se combina con el carbono[1] y una porcion del calórico, y forma el gas ácido carbónico; en tanto que el resto del calórico, otro principio del ayre puro, se desprende con calor y luz, tomando el estado de libertad; porque para tener la forma gaseosa el gas ácido carbónico, no le es precisa una cantidad tan grande de calórico como la que necesita para ello el ayre puro.

737 El gas ácido carbónico se halla naturalmente en muchos subterráneos, como, por exemplo, en la gruta del perro en Italia, en las galerías de las minas, en diferentes manantiales de agua; siendo este gas el que hace que estas aguas sean espirituosas y acídulas; tales son las aguas de *Pyrmont*, de *Saint-Mion*, de *Seltz*, de *Pougues*, de *Châteldon*, de *Bussang*, de *Spa*, &c.

738 Es producido este gas abundantemente, 1.° por los licores espirituosos que fermentan, tales como el vino, la cerbeza, &c.; cuya formacion se debe entónces á la combinacion de la materia carbonosa de la parte azucarada, con el principio oxígeno del agua; 2.° por la respiracion de los animales, en la qual el oxígeno del ayre, cediendo una

1. Está compuesto el carbon ordinario de una base terrea y de una sustancia carbonosa que los químicos modernos han llamado *carbono*. Este carbono solo es disoluble en ciertos gases, y la base terrea es la que forma la ceniza despues de la combustion del carbon.

Digitized by Google

parte de su calórico para el mantenimiento de la vida (662), se combina con una materia carbonosa, que, segun los químicos modernos, se desprende de la sangre y de los pulmones; 3.° por la combustion de los cuerpos, en la qual se combina una parte del oxígeno del ayre con la materia carbonosa del cuerpo que se quema.

739 La base del gas ácido carbónico está en combinacion con un gran número de cuerpos naturales, tales como el carbonate calcareo, el mármol, todas las piedras de cal, los carbonates alcalinos, y en general, con todas las materias que forman efervescencia con los ácidos. Es fácil el extraerle de estas sustancias, haciendo obrar sobre ellas al ácido nítrico, ó al ácido sulfúrico debilitado con agua; por la razon de que este ácido carbónico tiene tan poca afinidad con sus bases, que puede ser separado de ellas por un ácido qualquiera, y aun algunas veces por solo el calor.

740 Póngase carbonate calcareo ó alcalino, &c. en un frasco que tenga un tubo recurvo (*fig.* 111); y échese por encima ácido nítrico, ó ácido sulfúrico debilitado con agua: encáxese la extremidad *d* del tubo recurvo en el agujero oblongo *b* ó *d* de la mesilla *e f* del aparato neumato-chímico de agua (*fig.* 109), sobre el qual agujero se habrá colocado ántes una campana llena de agua. Y en seguida se excitará en el frasco una fermentacion, durante la qual se desprenderá y pasará á la campana un fluido aëriforme, que es gas ácido carbónico.

741 Este gas se disuelve en el agua; pero con lentitud. Si se quiere que esto se verifique mas prontamente, se necesita mover con fuerza estos dos fluidos juntos, á fin de multiplicar sus contactos.

742 EXPERIMENTO. Introdúzcase tres ó quatro medidas de este gas en el tubo graduado (*fig.* 113), y

Digitized by Google

muévasele con fuerza en el agua del aparato, teniendo siempre el tubo boca abaxo; y se verá, por el ascenso del agua en el tubo, que se disuelve una gran parte del gas en el agua.

743 El agua disuelve mas ó ménos cantidad de este gas, segun su grado de calor, ó mas bien segun su grado de frialdad; pues quanto mas fria está tanto mas disuelve; pero aun en este caso no puede disolver mas que un volúmen quasi igual al suyo.

744 El agua que tiene este gas en disolucion toma un gusto acídulo, y tiene las mismas propiedades que las aguas minerales simplemente gaseosas.

745 EXPERIMENTO. Llénese de agua natural una botella qualquiera; y coloquésela, con el cuello hácia abaxo, sobre la mesilla *e f* del aparato neumato-chímico de agua (*fig.* 109): introdúzcase en ella gas ácido carbónico, lo suficiente para llenar quasi la mitad de su capacidad; y tapésela bien ántes que su cuello salga del agua: en seguida muévase el todo con fuerza: el gas se disolverá en el agua; y esta tomará el gusto acídulo, cosa de que es fácil asegurarse probando este agua.

746 Se vuelve verdaderamente ácida esta agua, porque enroxece la tintura de tornasol.

747 EXPERIMENTO. Echese de este agua sobre un poco de tintura de tornasol; y su color azul se volverá roxo claro.

748 El mismo efecto produce este ácido baxo la forma gaseosa.

749 EXPERIMENTO. Echese un poco de tintura de tornasol dilatada en agua, en un tubo lleno de este gas; y su color azul se convertirá en un roxo claro.

750 Este gas y el agua que le tiene en disolucion, precipitan la cal disuelta en el agua; porque si en un tubo lleno de este gas, se echa un poco

Digitized by Google

de agua de cal, el agua se volverá de color de leche, y la cal se precipitará; el mismo efecto se notará si se echa agua acidulada por este gas en agua de cal.

751 La cal combinada con este gas forma carbonate calcareo, llamado *greda* vulgarmente, la qual no es soluble en el agua; y esta es la causa de que se precipite: luego el agua de cal es una piedra de toque propia para reconocer la naturaleza y la cantidad de este gas ácido.

752 En los mismos términos se precipita la cal por medio del fluido que espiran los animales.

753 EXPERIMENTO. En un vaso en parte lleno de agua de cal, sóplese con un tubo, en términos que pase el fluido que se expira al traves del agua de cal; y se verá precipitarse la cal.

754 El gas ácido carbónico se forma pues en el pecho, como lo hemos dicho arriba (662) por la combinacion del oxígeno del ayre puro con la materia carbonosa que se desprende de la sangre; y una parte del calórico, otro principio del ayre puro, permanece en el cuerpo del animal para mantenerle la vida, en tanto que el gas ácido carbónico y el gas azótico (673) son expirados.

755 El gas ácido carbónico se combina con los alcalis, y los hace cristalizar.

756 EXPERIMENTO. Echese en una redoma que tenga curvos los bordes de la boca, y que esté llena de este gas, un poco de alcali puro y cáustico en licor: tápese prontamente la boca de este vaso con vexiga mojada; y dando vueltas á la redoma extiéndase bien el alcali sobre sus paredes: hecho lo qual habrá disminucion de volúmen, debida á la absorcion del gas por el alcali; lo qual prueba el hundimiento de la vexiga: se observará tambien que durante la combustion se excita algo de calor, cuyo

Digitized by Google

calor es causado por el calórico que toma el estado de libertad; y poco tiempo despues se percibe, sobre las paredes de la redoma, cristalizaciones que se van haciendo cada vez mas gruesas.

757 El gas ácido carbónico es mas pesado que el ayre atmosférico: su peso específico es al del ayre, como 150,60 es á 100,00: y al del agua destilada, como 18,6161 es á 10000,0000. Por manera que la pulgada cúbica de este gas pesa 0,6950 de grano; y el pie cúbico 2 onzas y 48,9600 granos.

758 Es fácil hacer ver el exceso de peso de este fluido sobre el del ayre. Si en un vaso lleno de aceyte se echa agua sucederá que no pudiendo el vaso lleno ya de aceyte contener los dos fluidos, se habrá de salir precisamente el uno de los dos: el agua, como mas pesada, baxará al fondo del vaso, y el aceyte, como mas ligero, se derramará: del mismo modo se podrá hacer salir el ayre de un vaso, echando encima gas ácido carbónico que es mas pesado.

759 Experimento. Tómese pues dos vasos de una misma capacidad poco mas ó ménos: que el uno *a* por exemplo, esté lleno de ayre, y el vaso *b* lleno de este gas: derrámese el gas sobre el ayre; y el vaso *a* lleno ántes de ayre se hallará lleno de gas, por haberse salido el ayre.

760 Se tendrá de este hecho la prueba siguiente; mediante á que el ácido carbónico apaga los cuerpos encendidos, y sofoca á los animales.

761 Experimento. Sumérjase pues en el vaso *a*, ó una buxía encendida, ó un animal vivo; y se observará que se apaga la buxía, como si se la hubiese sumergido en el agua; y que el animal queda sofocado prontamente al paso que ni lo uno ni lo otro hubiera sucedido, si el vaso *a* hubiera permanecido lleno de ayre.

Digitized by Google

762 Los seres vivientes que perecen mas prontamente en este gas, son aquellos que tienen dos ventrículos en el corazon: tales son los hombres, los quadrúpedos, los cetáceos y los páxaros; pues que bastan algunos minutos para hacerles perecer enteramente. Pero las ranas, las culebras, los peces, los insectos, &c. parece á la verdad que estan muertos en este gas, despues de haber estado sumergidos en él durante algun tiempo; pero si despues de esto se les expone al ayre libre, vuelven á la vida. Yo he tenido unos peces sumergidos en este gas durante mas de media hora, que parecia que estaban absolutamente sin vida: los expuse en seguida al ayre libre, y se reanimáron, por no estar mas que asfixiados. Pero se restablecian mucho mas prontamente quando los sumergia en el agua; pues que en cosa de dos minutos, aparecian tan vivos como lo estaban ántes de sumergirlos en el gas. Sin duda que el agua absorve este gas (741) que los sofoca, y los pone en estado de recibir el ayre: así, si los hombres pudiesen ser sumergidos en el agua sin peligro de sofocarse, seria este tal vez el medio mas pronto de curarlos de la asfixía.

763 Pretenden muchos físicos que el gas ácido carbónico tiene la propiedad de conservar las sustancias animales, y de retardar su putrefaccion; lo que no tengo dificultad en creer, porque estoy en que es necesario para la putrefaccion la presencia del ayre puro (647), ó por lo ménos de una sustancia capaz de producir el oxígeno, tal como el agua (640), por exemplo; á causa de que no se pudren los cuerpos mas que en virtud de combinarse con el oxígeno. Algunos han creido tambien que este gas es capaz de restablecer las materias ya podridas, ó por lo ménos que han comenzado ya á podrirse; lo que creo con dificultad.

Digitized by Google

764 Como la respiracion de los animales y la combustion de los cuerpos gastan continuamente ayre puro, y hacen pasar á ocupar su sitio en la atmósfera al gas ácido carbónico, se volveria bien pronto infecto y mortal el fluido que respiramos, si no hubiera alguna cosa que le restableciese. Pero el agua, de la que está cubierta la parte mas grande de la superficie de nuestro globo, absorve una gran porcion de este gas, y la vegetacion de las plantas descompone otra parte de él; á causa de que el texido vegetal absorve el carbono, y el oxígeno que queda libre, forma ayre puro, combinándose con la materia del calor ó el calórico. A mas, una parte del agua que sirve para la vegetacion, se descompone; de cuya descomposicion resulta el oxígeno en estado de libertad (654), por haber absorvido la planta el hidrógeno.

7. *Gas ácido muriático.*

765 El gas ácido muriático no se encuentra naturalmente; pues que no es mas que el producto del arte. Se le obtiene calentando el ácido muriático fumante en una retorta, cuyo extremo ó pico encaxe baxo una campana llena de mercurio, colocada sobre la mesilla del aparato neumato-chímico de mercurio. Se le puede obtener tambien con el mismo aparato, calentando, en lugar de ácido muriático, una mezcla de muriate de sosa ó sal marina, y de ácido sulfúrico; porque el ácido sulfúrico se combina con la base del muriate de sosa; y el ácido muriático que queda libre pasa á la campana convertido en gas ácido muriático.

766 Este gas no puede ser recogido en el agua, porque se disuelve en ella del todo y muy prontaménte.

Digitized by Google

767 EXPERIMENTO. Hágase pasar á la campana llena de mercurio, en la qual se recogió este gas, un poco de agua, la que por su ligereza respectiva subirá á la superficie del mercurio, é inmediatamente quedará el gas absorvido del todo y disuelto en el agua: el mercurio subirá hasta lo alto de la campana; y el líquido que se hallará encima del mercurio, será verdadero ácido muriático, tanto mas concentrado quanto mas gas y ménos agua tenga.

768 *Luego* el gas ácido muriático no es otra cosa mas que el mismo ácido muriático privado de agua (615), es decir, tan concentrado como puede estarlo, y combinado con el calórico que le hace tomar la forma gaseosa.

769 El gas ácido muriático tiene un olor vivo y picante.

770 Mezclado este gas con el ayre de la atmósfera, forma, lo mismo que lo hace el ácido muriático, unos humos ó vapores blancos, producidos por la combinacion de este gas con la humedad del ayre, y que son tanto mas aparentes quanto el ayre es mas húmedo. Así, se pretende que estos vapores no son sensibles sobre las altas montañas, en donde está el ayre, segun dicen, muy seco.

771 La base del gas ácido muriático está fuertemente combinada con el oxígeno, con el qual tiene una afinidad tan grande, que no se la puede separar de él; por cuyo motivo se ignora lo que es esta base; siéndonos hasta ahora desconocida. Es tal su afinidad con este principio acidificante, que puede combinarse con una cantidad mas grande de oxígeno que la que le es necesaria para constituirla ácido, y forma entónces el gas muriático oxigenado, del que hemos hablado arriba (715 y *siguientes*).

772 El gas ácido muriático es mucho mas pesado que el ayre atmosférico. Su peso específico es

Digitized by Google

al del ayre como 172,71 es á 100,00: y al del agua destilada como 21,3482 es á 10000,0000. De modo que la pulgada cúbica de este fluido pesa 0,7970 de grano, y el pie cúbico 2 onzas, 3 dracmas y 9,2160 granos.

773 El gas ácido muriático, que es el propio ácido muriático, da las mismas señales de acidez: enroxece los colores azules de los vegetales; pero no los destruye, ni tampoco á los demas colores, como lo hace el gas muriático oxígenado (724).

774 Se combina con todas las bases alcalinas, y forma con ellas sales muriáticas.

775 EXPERIMENTO. Si en una campana llena de mercurio se introduce gas ácido muriático, y en seguida se mezcla con él gas amoniacal, del que hablaremos pronto (802), se calienta mucho la mezcla, por la razon de que penetrándose mútuamente estos dos fluidos elásticos, pierden el calórico que los tenia baxo la forma gaseosa; cuya materia del calórico se hace sensible en virtud del estado de libertad en que se halla: se forma tambien inmediatamente una nube blanca, prueba de su penetracion mútua: el mercurio sube en la campana, y bien pronto se hallan sus paredes interiores cubiertas de cristales ramificados, que son un verdadero muriate de amoniaca.

776 En efecto, el gas ácido muriático no es mas que el ácido muriático (768), y el gas amoniacal no otra cosa mas que amoniaca (804); y se sabe que la combinacion de estas dos sustancias forma el muriate de amoniaca.

777 El gas ácido muriático sofoca á los animales que se sumerge en él, y apaga la llama de las buxías; pero agrandándolas primero, y dando á su disco un color verde ó azulado.

778 El gas ácido muriático es absorvido por los

Digitized by Google

cuerpos esponjosos, tales como el carbon, una esponja, &c.

779 El gas ácido muriático disuelve el alcanfor.

780 Se apodera del agua superabundante del sulfate de alumina y de borate, y los reduce en polvo.

781 Hace fundir el yelo tan prontamente como si se le echase en un brasero.

782 En todos estos casos es absorvido, y forma un ácido muriático semejante á aquel de que se le ha extraido.

783 Todo esto no es mas que el efecto muy conocido de la grande violencia con que se unen al agua los ácidos concentrados.

8. *Gas ácido sulfuroso.*

784 El gas ácido sulfuroso no se encuentra naturalmente, sino que es el producto del arte. Se obtiene calentando en una retorta (del mismo modo que hemos dicho (765) se hace para obtener el gas ácido muriático) ácido sulfúrico en tanto que obra sobre cuerpos combustibles, tales como el aceyte, carbon, mercurio, &c.; en una palabra, sobre unos cuerpos que puedan quitar una parte del oxígeno que está combinado con el azufre en este ácido; á causa de que el ácido sulfuroso no es otra cosa mas que el ácido sulfúrico, pero privado de una parte de su oxígeno (629). Luego esta sustancia no es mas que azufre combinado con una cantidad de oxígeno menor que la que se necesita para formar el ácido sulfúrico. El cuerpo combustible quita pues una parte de su oxígeno al ácido sulfúrico, quien por esto se convierte en ácido sulfuroso; y combinándose el calórico con este ácido sulfuroso, le hace tomar la forma gaseosa.

Digitized by Google

785 Todo esto debe hacerse con el aparato de mercurio, á causa de que el gas ácido sulfuroso es enteramente soluble en el agua. El ácido sulfúrico no es capaz de pasar á la forma gaseosa; pues para esto seria necesario convertirle ántes en ácido sulfuroso.

786 EXPERIMENTO. Echese pues en una retorta ácido sulfúrico sobre mercurio, y pongásele á calentar colocando el extremo ó pico de la retorta baxo una campana llena de mercurio, 1.° el mercurio de la retorta se combina con una parte del oxígeno del ácido sulfúrico, y por esta combinacion se oxida en polvo blanco; durante cuyo tiempo, perdiendo una parte de su oxígeno el ácido sulfúrico, se vuelve ácido sulfuroso, y pasa á la campana baxo la forma gaseosa, combinándose con el calórico. 2.° Concluida esta operacion, si se continua calentando la retorta, y se sustituye otra campana, pasa otro fluido elástico, que es ayre puro ó gas oxígeno; durante cuyo tiempo toma el estado de líquido el mercurio que habia sido oxidado. Se ve bien que en esta segunda operacion, el oxígeno, que combinándose con el mercurio le habia oxidado primero, se escapa en seguida por el calor, se combina con el calórico, y forma el ayre puro: he aquí pues en este solo experimento un metal, 1.° oxidado, 2.° revivificado. Luego no habiendo padecido alteracion alguna el mercurio, es constante que los dos fluidos elásticos que se obtiene, se deben al ácido sulfúrico descompuesto.

787 El gas ácido sulfuroso no es pues otra cosa mas que el mismo ácido sulfuroso, privado de agua (616), y muy concreto, combinado con el calórico, que le hace tomar la forma gaseosa. Este gas ácido es el que se siente quando se quema azufre.

788 El gas ácido sulfuroso es mas de dos veces

Digitized by Google

tan pesado como el ayre atmosférico. Su peso específico es al del ayre, como 205,43 es á 100,00; y al del agua destilada, como 25,3929 es á 10000,0000. Por manera que la pulgada cúbica de este gas pesa 0,9480 de grano; y el pie cúbico 2 onzas, 6 dracmas y 54,1440 granos.

789 El gas ácido sulfuroso apaga los cuerpos encendidos, y mata á los animales que se sumerge en él.

790 Destruye muchos de los colores vegetales, acercándose por este carácter al gas muriático oxigenado, del que hemos hablado arriba (715 y *siguientes*).

791 Se combina con los alcalis, y forma con ellos sales neutras; pero que difieren de aquellas que se forman por el ácido sulfúrico, en la forma, sabor, y sobre todo por la propiedad de descomponerse con los ácidos mas débiles, y aun con el ácido acetoso.

792 Este gas es enteramente soluble en el agua, con la qual se une prontamente perdiendo su calórico, y volviéndose por esto ácido sulfuroso en licor. Tambien hace fundir el yelo tan prontamente como lo hace el gas ácido muriático (781).

9. *Gas ácido fluórico.*

793 El gas ácido fluórico no se halla naturalmente, sino que para obtenerle se necesita del socorro del arte. Se consigue calentando en una retorta (del mismo modo que hemos dicho (765) que se hace para obtener el gas ácido muriático), ácido sulfúrico, en tanto que obra sobre una cantidad de espato fluor pulverizado; en cuyo caso, combinándose el ácido sulfúrico con la base del espato fluor (que es calcarea) (797), hace desprender otro ácido, que

Digitized by Google

combinándose con el calórico, pasa baxo la forma de un fluido elástico, que es el gas ácido fluórico, conocido ántes baxo el nombre de *gas ácido espático.*

Está pues formado en su totalidad el ácido fluórico del espato fluor; en donde se halla combinado con la tierra calcarea, formando esta sal insoluble. A *Margraff* es á quien debemos el primer conocimiento de este ácido: el Duque de *Liancourt* nos ha dado á conocer algunas de sus propiedades, en una memoria impresa baxo el nombre de *Boullanger*; y en fin *Scheele* parece haber dado la última mano á este ácido; pero aun se ignora qual es la naturaleza del radical fluórico, á causa de que no se ha conseguido todavía el descomponer el ácido.

794 Se necesita recoger este gas en el mercurio, por la razon de que es soluble del todo en el agua, y de que su disolucion en ella es muy pronta.

795 EXPERIMENTO. Si en la campana en que se ha recogido este gas, se introduce un poco de agua por cima de la superficie del mercurio, se disuelve el gas en ella inmediatamente y con calor; y el mercurio sube en la campana. Pero esta disolucion del gas en el agua está comunmente acompañada de un fenómeno muy singular; y es la precipitacion ó deposicion de una tierra blanca muy fina, que es quarzosa ó siliceosa.

796 El gas ácido fluórico no es pues otra cosa mas, como lo ha pensado *Scheele*, que un ácido particular extraido del espato fluor (617), del que no se conoce la base (630), y que está combinado con el calórico que le hace tomar la forma gaseosa. Este ácido tiene freqüentemente en disolucion una tierra vitrificable; conteniendo una cantidad mas grande de esta tierra baxo la forma gaseosa que quando está en licor, pues que quando se le hace

Digitized by Google

pasar del estado de gas al de licor, depone una parte de ella.

797 Esta meteria terreosa no proviene del espato, como lo ha creido *Priestley*; porque la base del espato fluor parece ser calcarea. La prueba de esto está en que el gas ácido fluórico precipita la cal disuelta en agua; y al combinarse con esta cal vuelve á formar al punto espato fluor. Proviene mas bien esta tierra vitrificable de los vasos de cristal ó de tierra de que se hace uso para extraer este gas; á causa de que el que se extrae en vasos de metal, como lo ha hecho *Meyer*, no tiene tierra alguna en disolucion. Segun esto, no nos debemos maravillar de que el ácido fluórico corroa, y penetre el cristal, lo qual obligó á *Priestley* á tomar, para sus experimentos, botellas de cristal muy gruesas. En conseqüencia de esta propiedad de corroer el cristal, ha inventado *de Puymorin* el grabar sobre el cristal por medio del ácido fluórico, como se graba sobre el cobre por medio del ácido nítroso.

798 El gas ácido fluórico parece ser mas pesado que el ayre atmosférico; no conozco aun exáctamente su peso específico.

799 Este gas apaga los cuerpos encendidos, y sofoca á los animales que se sumerge en él.

800 Enroxece fuertemente el color azul de los vegetales.

801 Tiene un olor fuerte y penetrante que se acerca al del gas ácido muriático (769); pero que es un poco mas activo. Quando se le mezcla con el ayre, forma del mismo modo que este último gas (770), vapores blancos, combinándose con la humedad del ayre. A pesar de esta semejanza con el ácido muriático, difiere no obstante mucho de él; á causa de que forma con los alcalis sales neutras fluóricas muy diferentes de las que forma el gas ácido

Digitized by Google

muriático con los mismos alcalis. Luego los químicos franceses, que baxo el nombre de *Boullanger*, publicáron en 1773, una serie de experimentos sobre el espato fluor, no tuviéron razon para pensar que el ácido de este espato no era otra cosa mas que el ácido muriático, combinado con una materia terreosa.

10. *Gas amoniacal.*

802 El gas amoniacal no se encuentra naturalmente; sino que para su produccion se necesita del socorro del arte. Para obtener este gas, se echa en una retorta *a b* (*fig.* 112), á la que esté adaptado un tubo recurvo *b c*, una cierta cantidad de amoniaca: se calienta el fondo de la retorta con algunos carbones encendidos, ó con una luz de espíritu de vino: se dexa salir primero el ayre de la retorta y del tubo, y no se recoge el gas en las campanas llenas de mercurio, hasta que la ebullicion del líquido esté bien establecida. Para evitar el que pase á la campana agua en vapor, la que se condensaria allí y disolveria el gas, se pone entre la retorta y el tubo de comunicacion un vaso pequeño que se tiene cuidado de refrescar con nieve, á fin de que se condense en él el agua que podria pasar en vapor; por cuyo medio se obtiene gas amoniacal muy seco y muy puro. Se puede, del mismo modo, obtener el gas amoniacal de una mezcla de tres partes de cal viva, y de una parte de muriate de amoniaca; en cuyo caso se descompone esta sal; el ácido muriático, que es uno de sus principios, se combina con la cal; y la amoniaca, otro principio suyo, combinándose con el calórico, pasa baxo la forma gaseosa.

803 No se podria recoger el gas amoniacal con el aparato de agua, porque el agua absorve muy

Digitized by Google

prontamente este gas disolviéndole, cuya disolucion de este gas en el agua es amoniaca.

804 Luego el gas amoniacal no es otra cosa mas que amoniaca privada de agua (618), y en el estado de la mas perfecta concentracion, combinada con el calórico que le hace tomar la forma gaseosa.

805 Pero este mismo gas amoniacal tan puro está compuesto de una parte de gas hidrógeno, del que hablaremos pronto (813 y *siguientes*), y de seis partes de gas azótico (673). He aquí la prueba dada por *Bertholet*, de la Academia de las Ciencias.

806 EXPERIMENTO. Mézclese en una campana llena de mercurio, gas amoniacal y gas muriático oxígenado (715); el gas amoniacal se descompondrá con prontitud: el exceso de oxígeno del gas muriático se combinará con el hidrógeno, base del gas hidrógeno, una de las partes constituyentes del gas amoniacal, y formará agua: el gas muriático, perdiendo su exceso de oxígeno, se convertirá en ácido muriático, que se disolverá en esta agua; y lo que quede será un fluido aëriforme, que no es otra cosa mas que gas azótico, otra parte constituyente del gas amoniacal. El todo estará acompañado de una cantidad de calor, dimanada del estado de libertad que toma el calórico que estaba combinado con el gas hidrógeno y con el gas muriático oxígenado.

807 El gas amoniacal es el mas ligero de todos los gases salinos, y aun mucho mas ligero que el ayre atmosférico. Su peso específico es al del ayre, como 52,87 es á 100,00; y al del agua destilada, como 6,5357 es á 10000,0000. Por manera que pesa la pulgada cúbica de este gas 0,2440 de grano; y el pie cúbico 5 dracmas y 61,6320 granos.

808 El gas amoniacal tiene un olor penetrante, y un sabor acre y caústico; y enverdece con pron-

Digitized by Google

titud y fuertemente el calor azul de los vegetales.

809 Se combina rápidamente con los gases ácidos carbónico, muriático y sulfuroso, y forma al punto sales neutras, excitando mucho calor, debido al estado de libertad que toma el calórico que estaba combinado con estos gases, y que les daba el estado aëriforme. Todas estas sales son amoniacales.

810 El gas amoniacal sofoca los animales, como lo hacen todos los demas gases sofocantes.

811 Aunque no puede servir para la combustion, y aunque apaga los cuerpos encendidos, es no obstante ligeramente inflamable, en virtud del gas hidrógeno que entra en su composicion (805); por lo qual aumenta la llama de una buxía, dándole un volúmen un poco mas considerable ántes de apagarla.

812 El gas amoniacal es absorvido y disuelto en el agua con prontitud, formando amoniaca semejante á aquella de adonde se le extrae. Si el agua está en estado de yelo le deshace inmediatamente el gas amoniacal, produciéndose frio, á causa de que se necesita una grande cantidad de calórico, combinado con el yelo, para hacerle fundir (1096). Al contrario produce calor el gas amoniacal al disolverse en el agua ya fluida, por la razon de que no teniendo ya este agua necesidad de una nueva cantidad de calórico, toma el del gas el estado de libertad.

ÓRDEN III.

Gases inflamables ó hidrógenos.

813 Los gases hidrógenos, conocidos baxo el nombre de *gases inflamables* (605), se hallan naturalmente en el fango ó lodo de las aguas cenagosas y de las lagunas, en las minas, ya sean metálicas, ya de carbon de piedra, y en las entrañas de los ani-

Digitized by Google

males. Se exhalan de las letrinas, de los cimenterios, y en una palabra, de todos los lugares en donde hay materias animales ó vegetales en putrefaccion; desde adonde se elevan á la atmósfera. Pero en ninguno de estos casos se hallan bien puros.

814 Se puede obtener el gas hidrógeno en su estado de pureza con el socorro del arte, descomponiendo el agua, pues que su base es una de las partes constitutivas de este fluido (620); siendo por esto por lo que se le ha dado á esta base el nombre de *hidrógeno*, es decir, *generador del agua*. No se conoce todavía esta base; ni se sabe aun que cosa sea esta sustancia, por no poderla separar del calórico que le da la forma gaseosa, sin fixarla en otro cuerpo.

815 Está bien probado en el dia que el agua no es un ser simple, sino que está compuesta de la base del ayre puro, llamado *oxígeno*, y de la base del gas hidrógeno ó inflamable, llamada *hidrógeno*, á saber, 17 partes de oxígeno y 3 partes de hidrógeno; ó lo que es lo mismo, segun los experimentos hechos por *Lavoisier*, de 85 partes ponderales de oxígeno y 15 partes de hidrógeno; de modo que para formar un pie cúbico de agua, se necesita 634 pies cúbicos 1152 pulgadas cúbicas de ayre puro, que pesan 59 libras y 8 onzas, y 1513 pies cúbicos 887 $\frac{13}{27}$ pulgadas cúbicas de gas hidrógeno, que pesan 10 libras y 8 onzas; todo lo qual quemado junto formará un pie cúbico de agua.

816 Se obtendrá pues gas hidrógeno del agua siempre que se ponga en contacto con este agua un cuerpo sobre el qual se haga obrar ó calentar un ácido, que tenga una afinidad mas grande con el oxígeno que la que tiene este último con el hidrógeno:

Digitized by Google

el hierro y el zinc, así como el carbon y los aceytes, son de esta especie.

817 EXPERIMENTO. Póngase en un frasco que tenga un tubo recurvo (*fig.* 111), limaduras de hierro ó de zinc, y échese por encima ácido sulfúrico muy debilitado con agua: en seguida se excitará una fermentacion acompañada de calor: déxese escapar el ayre del frasco; despues de lo qual encáxese el extremo del tubo recurvo baxo una campana llena de agua, colocada sobre el aparato neumato-chímico; y se verá pasar un fluido elástico, que es gas hidrógeno.

818 El hierro ó el zinc, que tienen mas afinidad con el oxígeno que la que tiene este último con el hidrógeno, se combinan con el oxígeno del agua, y toman el estado de oxídos; y el hidrógeno que queda libre, combinándose con el calórico, pasa baxo la forma gaseosa. Se ve por que no se obtendria gas hidrógeno alguno, si el ácido estuviese demasiado concentrado de modo que no tuviese nada de agua, pues que esta sola es aquí la que puede producirle.

819 Se obtendria el mismo gas sustituyendo al ácido sulfúrico, ó el ácido muriático, ó los ácidos vegetales del vinagre y del tártaro, ó tambien el ácido carbónico.

820 Se obtendrá asimismo el gas hidrógeno por medio de solo el calor.

821 EXPERIMENTO. Hágase pasar agua gota á gota al traves de un cañon de hierro hecho asqua enmedio de la lumbre; y cuyo cañon esté terminado por un tubo recurvo que encaxe baxo una gran campana llena de agua, colocada sobre el aparato neumato-chímico; y se verá pasar á esta campana un fluido aëriforme muy abundante, que no es mas que gas

Digitized by Google

hidrógeno. Nunca se ha hecho experimento de este género mas ingenioso que este, el qual se debe á *Lavoisier*.

822 En este experimento se combina con el hierro el oxígeno del agua, reduciéndole al estado de oxído; y el hidrógeno, que quedó libre, combinándose con el calórico, forma el gas hidrógeno que pasa á la campana. El peso de este gas, mas el peso que se le ha aumentado al hierro con la oxigenacion, componen justamente el peso del agua que falta. Y esta es la análisis.

823 EXPERIMENTO. Si en seguida se quema juntos, en un vaso conveniente, y que no dexe escapar nada, 634 pulgadas cúbicas 1152 líneas cúbicas de ayre puro, que pesan 317½ granos, y 15 13 pulgadas cúbicas 887 $\frac{13}{87}$ líneas cúbicas de gas hidrógeno, que pesan 56 granos, y cuyos dos pesos forman juntos 373½ granos, se tendrá una pulgada cúbica de agua, cuyo peso es tambien 373½ granos; porque el calórico no pesa nada. Lo mismo sucede en todos los fluidos aëriformes, cuyo peso se debe enteramente á sus bases. He aquí la síntesis. Tambien se debe á *Lavoisier* este precioso experimento.

824 No se objete á esto que el agua que se cree producida en este experimento, estaba en disolucion en los dos fluidos aëriformes; de los quales formaba el peso total: los hechos siguientes prueban que esta objecion es infundada.

825 Se sabe que no se obtendria nada de gas hidrógeno, si en los experimentos de arriba se substituyese el cobre al hierro ó al zinc; lo qual proviene de que el cobre no puede descomponer el agua, como lo hacen el hierro y el zinc, á causa de que el cobre tiene ménos afinidad con el oxígeno, que la que tiene este último con el hidrógeno. Pero, por

esta misma razon, puede el gas hidrógeno quitar el oxígeno al oxído de cobre, y revivificarle, en cuyo caso se forma agua.

826 Experimento. Introdúzcase en una campana llena de mercurio, colocada sobre el aparato de mercurio, una cantidad conocida de gas hidrógeno bien puro, por exemplo, 10 decímetros[1] cúbicos, que pesan 18,671 granos: colóquese despues en un vaso pequeño, flotando sobre el mercurio dello interior de la campana, oxído de cobre; y dirijase á este oxído el foco de un espejo ustorio; y se verá que el gas será absorvido, el cobre revivificado, el mercurio ascenderá en la campana, y en fin que la superficie del mercurio y las paredes interiores de la campana quedarán cubiertas de gotillas pequeñas de agua.

827 En este experimento, el oxígeno que habia reducido el cobre al estado de oxído, abandona este oxído, se combina con el hidrógeno del gas, con el qual tiene mas afinidad que la que tiene con el cobre, y forma agua mediante esta combinacion. Es verdad que es difícil aquí el medir exáctamente la cantidad de agua producida; pero es fácil el ver que hay un peso mucho mas considerable que el de los 10 decímetros cúbicos de gas hidrógeno empleados; siendo posible que, en este caso, haya mas de 124 granos de agua producidos; sin que se pueda decir que estos 124 granos de agua estaban en disolucion en una cantidad de gas que no pesaba mas que 18,671 granos. Luego el agua que resulta de estos experimentos no es la que se supone estar en disolucion en los fluidos aeriformes que se emplea; luego hay nueva produccion de agua.

828 Se puede tambien obtener gas hidrógeno por

[1] El decímetro es igual á 4 pulgadas, 3 líneas y 8,654 puntos.

medio de las sustancias combustibles animales y vegetales, analizándolas á fuego simple. El agua de estas sustancias es la que descomponiéndose proporciona la mayor parte de este gas, á causa de que su oxígeno se combina con estas sustancias; y su hidrógeno, combinándose con el calórico, pasa baxo la forma gaseosa.

829 No hay pues mas que una sola especie de gas hidrógeno, sea qual sea el sitio en donde se encuentre, y las materias que se emplee para extraerle; cuyo gas no puede estar mas que mezclado con diferentes sustancias, ó tener algunas en disolucion; y esto es lo que forma sus variedades, que son en número de cinco, á saber, el *gas hidrógeno sulfurado*, el *gas hidrógeno fosforado*, el *gas hidrógeno carbonado*, el *gas hidrógeno carbónico*, y el *gas hidrógeno de las lagunas*. Hablaremos despues de todas estas variedades; ahora examinaremos las propiedades del gas hidrógeno puro y sin mezcla.

II. *Gas hidrógeno puro.*

830 El gas hidrógeno puro tiene un olor fuerte y desagradable.

831 No da señal ninguna de acidez y pues que no precipita la cal disuelta en agua, ni enroxece la tintura de tornasol.

832 EXPERIMENTO. Si se echa un poco de agua de cal, ó de tintura de tornasol, en un tubo lleno de este gas, no se vuelve de color de leche el agua de cal, ni el color de la tintura de tornasol padece variacion alguna.

833 Quando el gas hidrógeno está bien puro, se conserva sin alteracion en botellas bien tapadas, en las quales se conservaria del mismo modo aun quan-

do tuviesen agua, por la razon de que es del todo insoluble en ella.

834 El gas hidrógeno puro es el mas ligero de todos los fluidos elásticos: su peso específico es al del ayre, como 8,02 es á 100,00; y al del agua destilada, como 0,9911 es á 10000,0000. Por manera que la pulgada cúbica de este gas pesa 0,037 de grano; y el pie cúbico 63,936 granos.

835 El gas hidrógeno sofoca los animales, como lo hacen todos los gases sofocantes, pero causándoles vivas convulsiones.

836 Aunque este gas sea una de las sustancias que se inflaman mas fácilmente, sin embargo apaga los cuerpos encendidos que se sumerge en él, como, por exemplo, una luz; la qual al entrar en el gas, le inflama en su superficie, en tanto que ella se apaga en lo interior del gas; sucediendo freqüentemente que al retirarla se vuelve á encender.

837 Quando no tiene mezcla de ayre este gas, solo arde en su superficie, á causa de que no puede nunca inflamarse sino en el sitio en donde se halla en contacto con el ayre.

838 EXPERIMENTO. Llénese de gas hidrógeno un vaso largo y estrecho, é inflámesele con una luz; y se verá que arde tranquilamente, al modo del espíritu de vino.

839 Pero su inflamacion es tanto mas pronta y mas completa, quanto mas multiplicados son sus contactos con el ayre.

840 EXPERIMENTO. Introdúzcase en una botella de media azumbre una parte de gas hidrógeno, y dos partes de ayre atmosférico; y presentando al cuello de la botella una buxía encendida, el gas se inflamará en el instante, y arderá con una rapidez increible, produciendo una detonacion viva semejante á la de la pólvora.

841 Si el gas hidrógeno estuviera mezclado con ayre puro, seria su detonacion considerablemente mas fuerte.

842 Experimento. Introdúzcase en la misma botella (840) dos partes de gas hidrógeno, y una parte de ayre puro, y encendiendo la mezcla, como en el experimento anterior, producirá una detonacion muy violenta; la qual puede ser hasta tal punto que reviente la botella, aunque esté abierta. En virtud de esto es preciso tener la precaucion de envolver la botella entre un paño ó rodilla, que en caso de rotura, retenga los pedazos de vidrio, impidiendo así el que suceda alguna desgracia.

843 Se inflama tambien el gas hidrógeno por medio de una chispa electrica, aunque muy pequeña.

844 Experimento. Introdúzcase en el vaso *a e* (*fig.* 116), que yo supongo de metal y con un arambre recurvo *b c d*, que pase por un tubo de cristal *a* embetunado en la cubierta del vaso, á fin de aislarle, introdúzcase, digo, dos partes de ayre atmosférico, y una parte de gas hidrógeno; y tapando bien el cuello ó boca *e* con un buen tapon de corcho, preséntese la bolilla de metal *b*, á un cuerpo actualmente electrizado: se excitará una chispa electrica entre esta bola y el cuerpo electrizado (2577): en seguida se excitará otra segunda chispa entre la bola *d* y el borde del vaso (2579); y esta segunda chispa será la que inflamará el gas. Como la explosion se hará en un vaso cerrado, la detonacion será muy violenta, y el tapon puesto en la boca *e* se escapará con la fuerza suficiente para herir á qualquiera á quien se dirija la puntería; en lo qual es preciso tener mucho cuidado, porque, si como lo ha hecho *Volta*, se adaptase al cuello *e* de nuestro vaso, un cañoncillo cargado con una bala, al

Digitized by Google

detonar el gas la arrojaría con la fuerza suficiente para agujerear una tabla de encina de una pulgada de grueso, á la distancia de 25 pasos.

845 El gas hidrógeno es capaz de descomponer el ácido sulfúrico, y de hacerle pasar al estado de ácido sulfuroso; por la razon de que su base ó el hidrógeno, teniendo con el oxígeno mas afinidad que la que tiene con el azufre, su hidrógeno, digo, se combinará con una parte del oxígeno del ácido sulfúrico, y le reducirá por esto al estado de ácido sulfuroso; y esta combinacion formará agua.

846 Hemos dicho (813) que el gas hidrógeno se exhala de las minas, de las aguas cenagosas, de las lagunas, de las letrinas, de los cimenterios, &c.; por lo que es fácil de concebir que este gas es la materia de los fuegos fatuos que se ve por cima de estos sitios.

847 Su ligereza (834) le permite elevarse en la atmósfera á bastante altura; y como puede inflamarse por medio de una chispa electrica (844), es probable que se inflama freqüentemente de este modo en las tempestades, y que aumenta entónces la detonacion del trueno; siendo esta sin duda la causa de que el trueno sea mas freqüente, y mas fuerte en ciertos sitios. Quando detona así este gas, quema; en cuyo caso, combinándose su base ó el hidrógeno con el oxígeno del ayre, forma el agua que cae en lluvia; y en efecto, suele haber con freqüencia en las tempestades lluvias violentas y súbitas, despues de haber dado algunos truenos.

848 El gas hidrógeno ha llegado á ser un fluido interesante para los físicos, y sobre todo para los aëronautas, desde que se ha hecho uso de él para llenar las máquinas ó globos aërostáticos; del ascenso de los quales es causa la ligereza específica de este gas (834).

Digitized by Google

849 Se ha solicitado tambien el sustituirle á materias combustibles, en braserillos y lámparas. *Neret* dió la descripcion de un braserillo para gas hidrógeno en el Diario de Física (*Enero* 1777). *Furstemberger* físico de *Bâle*, *Brander* mecánico de *Augsburgo*, y *Ebrmann* demostrador de física en *Estrasburgo*, inventaron lámparas para gas hidrógeno, que se puede encender por la noche por medio de una chispa electrica. Pero se necesita tomar bastantes precauciones para impedir el que se introduzca ayre atmosférico en la lámpara, lo que ocasionaria una viva detonacion, y la rotura del vaso con gran peligro de los asistentes.

850 En fin se ha hecho de este gas fuegos de artificio muy agradables sin humo y sin ruido, llenando vexigas guarnecidas de llavecillas de metal (*fig.* 117), é introduciéndole, con ayuda de estas vexigas, en los tubos cilíndricos diferentemente contorneados, y agujereados con un gran número de aberturas pequeñas. De modo que apretando estas vexigas mas ó ménos, segun se quiere, pasa el gas hidrógeno á los tubos, sale por todas las aberturas hechas en ellos, y se le inflama con una luz; despues de lo qual continua ardiendo hasta que, cerrando las llavecillas, se interrumpe el curso de este gas. Nadie ha hecho cosas mas agradables en este género que *Diller*, demostrador de física en la Haya: sus fuegos de artificio presentan diferentes figuras, ya inmóviles, ya móviles, y que están adornadas de muchos colores; siendo lo mejor de esto que no hay peligro ninguno que temer por no ser detonantes los gases que emplea. La llama blanca es producida por el gas hidrógeno extraido mediante el carbon de tierra: la mezcla de parte igual de ayre atmosférico con este gas produce el color azul; y el gas hidrógeno puro produce el roxo, y si se le

Digitized by Google

mezcla, soplando, gas espirado, que es gas ácido carbónico y gas azótico (669), añade á este color una tintura de azul.

851 Es cierto que el gas hidrógeno es una sustancia de una naturaleza determinada, siempre la misma, y de la que no hay mas que una sola especie; en la combinacion de la qual entra una grande cantidad de calórico que está poco unido á ella, y quasi en el estado de fuego libre; pero esta especie de gas puede mezclarse con otras sustancias, y tener algunas de ellas en disolucion; que es lo que forma sus variedades, de las que vamos á hablar ahora.

12. *Gas hidrógeno sulfurado.*

852 El gas hidrógeno sulfurado es el que tiene azufre en disolucion (621), y que está conocido baxo el nombre de *gas epático*. *Gengembre*, que ha hecho la análisis de él, le considera como formado de gas hidrógeno puro y de azufre muy dividido; siendo este azufre, que él tiene en disolucion, el que le da sus caractéres distintivos.

853 Se saca este gas de los sulfuretos sólidos, descomponiéndolos en aparatos neumato-chímicos, por medio de los ácidos debilitados con agua: el sulfureto se apodera del oxígeno del agua, y el hidrógeno forma este gas, combinándose con una parte del azufre y del calórico.

854 El gas hidrógeno sulfurado tiene un olor muy fétido.

855 No sé qual es su peso específico; pero él es ciertamente mucho mas pesado que el gas hidrógeno puro, y soluble en el agua; siendo sin duda el azufre el que le hace así soluble y mas pesado.

856 Este gas enverdece el xarabe de violetas, y

Digitized by Google

tiene, como los demas, la propiedad de sofocar á los animales.

857 El ayre puro que se mezcla con él, le descompone por la combinacion de su oxígeno con el hidrógeno de este gas; lo qual hace precipitar el azufre de él. Por la misma razon se descompone del mismo modo, y se precipita su azufre, por medio del ácido nitroso, del ácido sulfuroso, y en ciertas ocasiones, del ácido muriático oxigenado; en todos los quales casos hay formacion de aguas.

858 El gas hidrógeno sulfurado se enciende con el contacto de los cuerpos inflamados, y tambien con la chispa electriba: quando arde forma una llama de un azul roxizo; en cuyo tiempo depone azufre sobre las paredes de los vasos que le contienen, el qual azufre no puede arder á causa de la corta cantidad de calor, suficiente solo para que arda el gas.

859 El gas hidrógeno sulfurado es el que mineraliza las aguas sulfurosas, tales como las de *Enghien*, de *Bonnes*, de *Baredge*, de *Cauterets*, &c.

13. *Gas hidrógeno fosforado.*

860 El gas hidrógeno fosforado es el que tiene fósforo en disolucion (622). Le descubrió *Gengembre*, quien le obtuvo haciendo cocer una lexía de potasa con la mitad de su peso de fósforo hecho pedacitos; y recibiendo el fluido aëriforme, que se desprendia de esto, en campanas llenas de mercurio.

861 No se podria recogerle en el agua, á causa de que es muy soluble en ella; siendo sin duda el fósforo el que le da esta solubilidad en el agua.

862 El gas hidrógeno fosforado tiene un olor muy fétido.

863 Sofoca á los animales.

864 Se inflama con solo el contacto del ayre, produciendo una explosion, que seria muy fuerte y tal vez tambien dañosa, si se presentase al ayre á un tiempo una cantidad demasiado grande de este gas; por lo qual es preciso no presentar mas que muy poco de él; pues basta una bolilla del grueso de una avellana sobre corta diferencia. El fósforo que este gas tiene en disolucion, es el que le comunica su inflamacion, encendiéndose por el contacto del ayre. En tanto que se quema, sale de él un humo que forma en el ayre quieto una especie de corona circular, cuyo diámetro aumenta segun se va elevando: este humo es ácido fosfórico (637) concreto.

865 EXPERIMENTO. Si se introduce ayre puro en una campana llena en parte de gas hidrógeno fosforado, y colocada sobre el aparato neumato-chímico de mercurio, se inflama el gas dando un estallido admirable; arde con una rapidez muy grande, produciendo un humo blanco espeso, y se excita un calor y una rarefaccion tan considerables, que se rompe la campana, si no es de un cristal muy grueso.

14. *Gas hidrógeno carbonado.*

866 El gas hidrógeno carbonado es el que tiene carbon en disolucion (623).

867 Se sabe en el dia que el carbon, aunque muy fixo en los vasos cerrados y en los fuegos ordinarios, contiene no obstante un principio carbonoso, llamado *carbono*, susceptible de poderse reducir en vapores con el auxilio de un calor muy fuerte, y de ser disuelto en fluidos aëriformes: sobre todo, el gas hidrógeno tiene la propiedad de disolver así este principio carbonoso, al que arrastra frequente-

fuente con él tomando la forma gaseosa.

868 Se obtiene pues un gas hidrógeno carbonado así, quando se hace obrar, sobre la fundicion de hierro, ó sobre aceros, al ácido sulfúrico debilitado con agua, por la razon de que el uno y el otro tienen un poco de materia carbonosa, la qual han absorvido, el hierro en los hornos grandes, y el acero en la fermentacion; lo que prueba bien que el acero no es sin hierro tan puro como aquel de que ha sido formado.

869 El gas hidrógeno carbonado es mucho mas pesado que el gas hidrógeno puro; luego no es aquel gas del que se debe hacer uso para llenar los globos aërostáticos, pues que su mayor peso exigiria en el globo un volúmen demasiado grande.

870 Se podria disolver con prontitud carbono en gas hidrógeno, dirigiendo al medio de una campana llena de este gas, el foco de un espejo ustorio, de modo que cayese sobre carbon flotando encima del mercurio, que se supone en el fondo de la campana; por cuyo medio se tendria un gas hidrógeno carbonado.

871 El gas hidrógeno carbonado arde formando una llama azul; y arroja, durante su combustion, chispillas blancas ó roxizas.

15. *Gas hidrógeno carbónico.*

872 El gas hidrógeno carbónico es el que está simplemente mezclado con gas ácido carbónico (793), pero sin combinacion (624).

873 Se le obtiene por medio de la destilacion de muchas materias vegetales, y en particular del tartrite acídulo de potasa y de todas las sales tartarosas, de las sales acetosas, de las maderas duras,

Gas nítroso. 13,0179
Gas ácido carbónico. 18,6761
Gas ácido muriático. 12,3482
Gas ácido sulfuroso. 25,3989
Gas amoniacal. 6,5357
Gas hidrógeno puro. 0,9911

CAPITULO XI.

DE LAS PROPIEDADES DEL AYRE.

884. Hemos visto arriba (643 y siguientes) qual es la naturaleza del ayre, y tambien se ha probado que esta sustancia es una mezcla de dos fluidos elásticos, de los quales el uno (el ayre puro, ó gas oxígeno (647),) no compone mas que quasi la quarta parte de su volúmen; y el otro (el gas azótico (673)) componę cerca de las tres quartas partes de él. El primero de estos fluidos es el único que sirve para el mantenimiento de la vida de los hombres y de los animales (662), y para la combustion de los cuerpos (664); y el segundo, si estuviera solo, nos sofocaria muy prontamente, y apagaria en el instante los cuerpos encendidos que se sumergiese en él (688): es verdad que si respiráramos el oxígeno solo y sin mezcla, podria tambien hacernos perecer bastante pronto, por el calor ardiente que imprimiria en todo nuestro ser (663). Admiremos pues la providencia en la composicion y mezcla del fluido que nos ha dado para respirar. Este ayre tan puro, y tan propio para el mantenimiento de la vida, puede compararse con los licores espirituosos, que son buenos en sí mismos, pero de los quales se necesita hacer uso sobriamente. . . . .

Digitized by Google

885 Rodea el ayre por todas partes al globo terrestre, y le sirve en algun modo de cubierta; á cuya cubierta es á lo que se llama *atmósfera*. Luego debemos considerar al ayre bajo dos diferentes relaciones, 1.° en sí mismo; 2.° como formando la atmósfera; en cuya última qualidad tiene el ayre propiedades que no tiene quando no se considera mas que una porcion de él, y quando se hace abstraccion de las materias extrañas que se le unen.

El ayre considerado en sí mismo.

886 Es el ayre, como todos los demas fluidos permanentes de esta especie (890), pesado y compresible, elástico, transparente, sin color, invisible é incondensable en licor por el frio.

887 Jamas es parte constituyente de cuerpo alguno; pero sus bases (61 c), á saber, el oxígeno y el azoe, entran en la composicion de un gran número de ellos: el oxígeno entra en la composicion de todos los ácidos, de todos los óxidos, &c. y el azoe en la de los animales, y de algunos vegetales, con tal que estas bases cesen de estar combinadas con el calórico.

888 En tanto que permanecen así combinadas estas bases, forman un fluido que no cesa jamas de serlo, y cuya fluidez es causada por la elasticidad, que tiende siempre á dilatar la masa, y que conserva la movilidad respectiva de las partes. Si el ayre no fuese mas que compresible, podria formar un cuerpo duro, como le forma la nieve apretada fuertemente.

889 El ayre se adhiere con bastante fuerza á la superficie de los cuerpos; de lo que es fácil convencerse: échese agua en una vasija que se haya puesto con anticipacion á la lumbre; y la capa de ayre

adherente á las paredes de la vasija, que entónces se halla entre el agua y estas paredes, se hará sensible por su rarefaccion (22), causada por el calor; del mismo modo se haria sensible en el vacío, por su dilatacion (39), ocasionada en virtud de su resorte.

890 Hemos probado arriba (301) que *el ayre es un fluido pesado*: tratemos ahora de averiguar quál es su peso específico. Este peso específico es lo que pesa un cuerpo baxo un volúmen conocido y determinado, como por exemplo, una vara cúbica, ó un pie cúbico (331). El medio mas sencillo y mas seguro, segun mi parecer, de conocer el peso específico del ayre, es el siguiente.

891 Prepárese un globo de cristal (*fig.* 18) de una capacidad un poco grande, como por exemplo, de 20 *litros*, guarnecido de una llavecilla *a*; lo qual hecho, se procurará conocer las quatro cosas siguientes: 1.° el peso de este globo vacío de ayre; 2.° el peso del agua destilada que puede caber en él; 3.° el peso del ayre que puede contener; y 4.° la capacidad de este globo.

Para conocer estas quatro cosas se necesita, 1.° pesar con una balanza muy exácta el globo bien seco, y lleno de ayre, y supongamos que pese 11 libras, 6 dracmas y 52 granos.

2.° Pesar en un vaso una cierta cantidad de agua destilada; supongamós 61 libras, una onza, 6 dracmas y un grano.

3.° Llenar el globo de este agua.

4.° Pesar el agua que queda, y supongamos que el peso de este resto de agua sea 10 libras, 4 onzas, 2 dracmas, 45 granos; luego el agua contenida en

El litro es igual á 1,061 quartillos; ó á un quartillo y 3,93 copas, que es muy poco mas ó menos la medida antigua.

el globo pesa 40 libras, 13 onzas, 3 dracmas y 28 granos.

5.° Se necesita pesar el globo lleno de este agua; supongamos que pese 42 libras, 13 onzas, 3 dracmas y 28 granos; y quitando de aquí 40 libras, 13 onzas, 3 dracmas y 28 granos, peso del agua que contiene el globo, queda 2 libras por peso del globo vacío de toda sustancia.

6.° Del peso del globo lleno de ayre que hemos encontrado arriba ser de 2 libras, 6 dracmas y 32,32 granos, quítese 2 libras, peso del globo vacío, y queda 6 dracmas 32,32 granos, peso del ayre que contiene el globo.

7.° Nos queda que conocer la capacidad del globo. El peso de un *decímetro* [1] cúbico, ó de un *litro* de agua destilada, pesado en el ayre á 5 grados por cima de la temperatura del yelo, es 2 libras, 5 dracmas y 26,60 granos.

Si se divide ahora el peso del agua contenida en el globo igual á. . . . . 376372,0 granos

por el peso del *litro* de agua igual á 18818,6 granos, se tendrá 20 por quociente, que es el número de *litros* que señala la capacidad del globo: luego esta capacidad es de 20 *litros*.

Resumen.

	lib.s	onz.s	dr.s	gr.s
1.° El peso del globo de cristal vacío de ayre es.	2	0	0	0.
2.° El peso del agua que contiene es.	40	13	3	28.
3.° El peso del ayre que cabe en él es.	00	00	6	32,32.

[1] El *decímetro* es igual á 4 pulgadas, 3 líneas y 8,614 puntos.

4.° La capacidad del globo es
de. . . . . 20 *litros.*

Dividiendo 464,32 granos peso del ayre contenido en el globo por 20 número de *litros*, se tendrá por quociente 23,216 granos : luego el *litro* de ayre pesa 23,216 granos, y el *kiliolitro*[1] ó *metro*[2] cúbico de ayre pesa 2 libras, 8 onzas, 2 dracmas y 32 granos.

Si se le quiere comparar con el peso del metro cúbico de agua que es igual á 2041 libras, 15 onzas, 1 dracma y 32 granos, ó lo que es lo mismo á 18818600 granos, se hará esta proporcion, 23216 granos peso del kiliolitro ó metro cúbico de ayre, es á 18818600 granos peso del kiliolitro ó metro cúbico de agua, como 1 es á $x = 810,6$: luego el peso del ayre es al peso del agua como 1 es á 810,6.

892 Se han hecho estos experimentos estando el barómetro á 28 pulgadas, y el termómetro á 5 grados por cima de cero.

893 Estos mismos medios se han empleado para pesar todos los fluidos elásticos de que hemos hablado en el capítulo X. Para llenar el globo de cristal, sin mezcla de otras sustancias, se ha hecho pasar estos fluidos el uno despues del otro, á una gran campana de cristal (*fig.* 119), abierta y guarnecida por la parte superior de una birola de laton *a* y de una llavecilla *b*, y colocada sobre la mesilla *e f* (*fig.* 109) del aparato neumato-chîmico. En seguida, adaptando el globo (*fig.* 118) bien vacío de ayre á esta campana, asegurando la guarnicion *a* del globo á la

[1] El *kiliolitro* es igual á 61,985 cántaras ó arrobas, ó á 61 cántaras ó arrobas, 7 azumbres, 3 quartillos y 2,1 copas, que es muy poco ménos de 62 cántaras.

[2] El *metro* es igual á 3 pies, 7 pulgadas, 1 línea y 2,14 puntos.

Digitized by Google

guarnicion *b* de la campana, y abriendo las llavecillas, se llena el globo del fluido que contiene la campana.

894 Pues que el ayre es un fluido pesado, no se debe extrañar el sentir una presion muy fuerte sobre la mano, quando se la tiene colocada sobre la abertura superior de un recipiente, en el que se haga el vacío por medio de una máquina neumática. Porque en el instante en que el ayre del recipiente ha sido dilatado por la accion de la máquina, ya no es capaz de sostener la presion del ayre exterior, como lo hubiera sido si no hubiera variado de densidad (910). Luego la preponderancia de la presion del ayre exterior es la que oprime la mano contra el recipiente; cuya presion es tanto mas considerable, quanto la abertura del recipiente es mas grande, á causa de que entónces tiene la columna de ayre una base mas grande (294).

895 Mas lo que deberia sorprehender, es el cómo no hace pedazos esta presion del ayre los grandes recipientes, en los quales se hace un vacío quasi perfecto; á causa de que la presion del ayre sobre estos recipientes iguala el peso de una columna de mercurio, que tenga por base la anchura de los recipientes, y por altura cerca de 28 pulgadas (301); cuyo peso es muy enorme para que le sostenga un vaso de cristal. Lo que les liberta de romperse, es su figura redonda en forma de cilindro ó de bóveda (*fig.* 120). La sola inspeccion de esta figura hace ver que la superficie exterior es mas grande que la interior: todas las partes que componen el grueso, parecen pues á aquellas de las que se componen los arcos; y que son otras tantas cuñas ó pirámides truncadas, que se sostienen mútuamente contra la presion que las impele hácia un exe ó un centro comun. La verdad de lo que decimos se prue-

Digitized by Google

ba claramente con el experimento que sigue.

896 EXPERIMENTO. Póngase en la máquina neumática un recipiente abierto por una y otra parte, y cubierto con una vexiga mojada, á fin que se pueda ceñir á él y taparle bien por encima; y á proporcion que se hará obrar á la bomba para vaciar el recipiente, el peso del ayre exterior obligará á tomar á la vexiga estirada la forma de un solideo invertido; cuya vexiga se romperá con ruido despues de haber dado algunos golpes de émbolo. Antes que obre la bomba hace equilibro el resorte del ayre interior con la presion exterior (910); pero á proporcion que se disminuye la fuerza de este resorte, disminuyéndose la densidad del ayre del recipiente, el exceso de fuerza de la presion exterior impele la vexiga hácia dentro, haciéndola en fin reventar. Si en lugar de vexiga se pone sobre el recipiente una plancha delgada de plomo ó de cristal, con un cuero interpuesto para taparle bien, la plancha de plomo se hundirá en el recipiente, y la de cristal se hará pedazos. Un recipiente de otra qualquier figura que no sea la redonda, se romperá del mismo modo. Varias veces ha sucedido á algunos cazadores que llevaban vino en botellas chatas aforradas de mimbres, el romperse estas al llevarlas á la boca medio llenas, y al chupar para beber; en cuyo caso dilatando la succion el ayre interior, y obrando el peso del ayre exterior sobre los dos lados chatos de la botella, los lleva el uno hácia el otro, y la rompe. Esta presion del ayre exterior es la que hace adherir los recipientes bien rectos á la platina de la máquina neumática.

897 *El ayre es un fluido compresible.* Se comprime por su propio peso; de modo, que en un sitio baxo está mas comprimido y tiene mas densidad que en un sitio elevado. Se le podria comparar con res-

Digitized by Google

pecto á esto á unas cardas de lana ó de algodon: supongamos que se hace quinientas ó seiscientas de ellas, todas de una misma longitud, de una misma anchura, de un mismo grueso, y de un mismo peso; y que se las coloca las unas sobre las otras; se concibe fácilmente que la que se halla debaxo estará cargada con el peso de todas las demas; y que en conseqüencia estará aplanada, tendrá un volúmen menor con la misma masa, y por consiguiente mas densidad: la densidad de la carda que se halla encima de esta primera será un poco menor, á causa de que estará ménos cargada; y así de las demas á proporcion que se las considerará en sitios mas elevados. Lo mismo se debe entender con respecto á las diferentes capas de ayre colocadas las unas sobre las otras, como lo probarémos mas adelante (957); pero no con respecto al agua, por exemplo, que no es nada ó quasi nada compresible (27); pues que las diferentes porciones de una misma masa de agua tienen la misma densidad en todo su grueso.

898 Pero ¿qué relaciones guardan entre sí la condensacion del ayre y la fuerza que le comprime? *Boyle* y *Mariotte* imaginaron un experimento que responde á esta pregunta. Hele aquí: *a b c* (*fig.* 121) es un tubo de cristal recurvado en forma de sifon, cuyo brazo mas largo *a b* tiene cerca de 8 pies de longitud, y el mas corto 12 pulgadas, contando desde *b* á *c*: la parte *b c* debe ser perfectamente cilíndrica, y de un diámetro bien igual de uno á otro cabo, á fin que unas longitudes iguales den capacidades semejantes: el tubo está abierto en *a*, y cerrado herméticamente en *c*, y unido sólidamente á una tabla fuerte dividida en pulgadas y en líneas desde *b* á *a* y desde *b* á *c*: colocado este instrumento verticalmente, se echa en él un poco de mer-

curio, de modo que quede lleno el codillo *d b e*. Antes de echar el mercurio, estaba el tubo lleno de un ayre comprimido por el peso de la atmósfera (897), el qual peso es igual al de una columna de mercurio de 28 pulgadas (301). Al echar el mercurio en el codillo *b*, se divide este ayre en dos porciones, de las quales una *a d* está aun expuesta á la presion de la atmósfera, con la qual comunica; y la otra *e c* debe ser considerada como un resorte precedentemente tendido por el peso de la atmósfera.

899 Ahora, si se añade mercurio en el brazo largo, hasta que llegue á 14 pulgadas, contando desde su nivel con el mercurio del brazo corto, se habrá aumentado un tercio la presion que obra sobre la columna de ayre *e c*; y esta columna se habrá disminuido un tercio, es decir, que de 12 pulgadas quedará reducida á 8: si se añade 28 pulgadas, se habrá doblado la presion, y la columna disminuido la mitad, y reducido á 6 pulgadas. Si se añade 56 pulgadas, se habrá triplicado la presion, y la columna disminuido dos tercios, y reducido á 4 pulgadas. Si se añade 84 pulgadas, se habrá quadruplicado la presion, y la columna disminuido sus tres quartas partes, y reducido á 3 pulgadas.

900 Se debe concluir de aquí, que el *ayre comprimido disminuye de volúmen en la misma razon en que la compresion aumenta*; y como la disminucion de volúmen es una verdadera condensacion (23), se sigue de aquí, que *el ayre se condensa en razon directa de los pesos con que está cargado.*

901 Es no obstante muy probable que esta proporcion no se verifica en los grados extremos, á causa de que no se conoce cuerpo ninguno que pueda ser comprimido al infinito; y hay apariencia de que existe un término mas allá del qual no podria

Digitized by Google

ser comprimido el ayre, qualquiera que fuese la fuerza que se le aplicase : pero se ignora qual es este término. Por los experimentos que ha hecho *Boyle*, parece que ha reducido al ayre, por compresion á la 13.ª parte de su volúmen. Otros han ido mucho mas léjos : sobre todo *Hales* (*Statique des Végét. Appénd. pag.* 389), quien, comprimiendo el ayre con una fuerza igual á 37 veces el peso de la atmósfera, dice haberle reducido á la 38.ª parte de su volúmen; y mas abaxo (*pág.* 392), pretende haberle reducido á la 1838.ª parte de su volúmen; de modo que por esta compresion, hubiera llegado á ser el ayre mas de dos veces tan denso como el agua, lo que es bastante dificil de creer. En efecto, la conseqüencia que saca de su experimento es algo dudosa ; á causa de que calcula la fuerza que ha sido necesaria para reventar la bomba de que se sirvió para este experimento, y en conseqüencia la fuerza que ha comprimido al ayre; calcula, digo, estas fuerzas segun aquella que se ha hallado ser necesaria para romper un arambre de hierro de 1 ½ línea de diámetro; pero este arambre era de hierro batido y muy dulce, y su bomba era de hierro fundido y muy agrio; y se sabe que este último hierro opone á su rotura una resistencia muy inferior á la que opone el hierro dulce. A mas, el tubo que contenia el ayre se rompió en muchos pedazos; luego no se ha podido saber, por este experimento, hasta que punto ha sido condensado el ayre : y quando la fuerza que empleó hubiese tenido toda la intensidad que él pretendia, pudo suceder que el ayre, condensado hasta un cierto punto, cesase de ceder á la presion.

902 *Amontons* pensó que esta condensacion del ayre podia ir aun mas léjos que ha creido *Hales*; pues que pretendió (*Mém. de l'Acad. an.* 1703. *pág.*

Digitized by Google

104) segun la regla establecida arriba (900), que la parte inferior de una columna de ayre, prolongada 19 leguas hácia el centro de la tierra, tendria, á esta profundidad, una densidad igual á la del oro.

903 *El ayre es un fluido elástico*, y su elasticidad tiende siempre á dilatar su masa. Supongamos una vexiga bien tapada, y que no contiene mas que una corta porcion de ayre: en tanto que esté expuesta esta vexiga á la presion de la atmósfera, permanecerá en su estado, de modo que el ayre que contiene será de la misma densidad que la del ayre exterior.

904 Pero si se coloca esta vexiga baxo el recipiente de la máquina neumática, y se hace en él el vacío, á proporcion que, por el juego de bomba, se disminuya la densidad y la presion del ayre que rodea á la vexiga, se dilatará el ayre que ella contiene, y le hará hincharse; y esto tanto mas quanto la densidad del ayre del recipiente esté mas disminuida: luego la elasticidad del ayre tiende siempre á dilatar su masa.

905 Lo mismo sucede con la dilatacion del ayre que con su condensacion; pues que se ignora hasta que punto puede llegar esta dilatacion. Segun *Muschenbroëk* y *Mariotte*, el ayre que está cerca de la superficie de la tierra, y expuesto á la presion de la atmósfera, puede dilatarse, si se hace cesar esta presion, hasta ocupar un espacio 4000 veces mas grande que el que ocupaba.

906 *Boyle*, por medio de muchos experimentos succesivos, le dilató la primera vez hasta hacerle ocupar un espacio 9 veces mas considerable que ántes; en seguida le hizo tomar un volúmen 31 veces mas grande; despues de esto 60 veces; en seguida 150 veces; despues 8000 veces; despues 10000

Digitized by Google

veces; y por último 13679 veces, y esto con solo la fuerza de su resorte: de modo que el volúmen de una masa de ayre comprimida por el peso de la atmósfera, seria al volúmen de la misma masa de ayre dilatada tanto como podria estarlo por su resorte en el vacío, como 1 es á 13679. Pero ¿se podrá tener la precisa confianza en la exáctitud de estos resultados? Mucho desconfio de ellos.

907 *La elasticidad del ayre es perfecta*; esto es, que si una masa de ayre ha sido comprimida por una fuerza qualquiera, y en seguida cesa esta fuerza de obrar, se restablece la masa de ayre, 1.° completamente, volviendo á tomar precisamente el mismo volúmen que tenia ántes de la compresion: 2.° se restablece con la misma prontitud que aquella con la qual ha sido comprimida: en esto es en lo que consiste la elasticidad perfecta (33). Luego si se comprime una vexiga llena de ayre, en el instante en que se haga cesar la compresion, se restablecerá la vexiga en su primer estado, y esto se verificará con otra tanta prontitud como aquella con la qual haya sido comprimida.

908 No solamente es perfecta la elasticidad del ayre, sino que tambien *es inalterable*; pues que ni la fuerza, ni la duracion de la compresion alteran en modo alguno su resorte: por mucha que sea la fuerza con que se le comprima, y por largo que sea el tiempo que se le dexe en este estado, si cesa de obrar alguna vez la causa que le comprime, se restablece siempre tan perfectamente como lo hubiera hecho, si se le hubiese dado la libertad un instante despues de la compresion. *De Roberval* conservó, durante quince años, el ayre comprimido en una escopeta de viento; y despues de este largo intervalo de tiempo, manifestó el ayre tanta fuerza de resorte como manifiesta comunmente en semejante caso;

Digitized by Google

arrojando la bala tan lejos como lo hubiera hecho en el primer dia de su compresion.

909 El resorte del ayre es tanto mas activo, quanto mayor densidad tiene: luego aumenta su resorte á proporcion que aumenta su densidad, y esto en la misma relacion; de modo que *el resorte del ayre iguala siempre y hace equilibrio con la potencia que le comprime*; pudiendo producir, en virtud de su reaccion, el mismo efecto que produciria esta potencia. Sumérjase en un frasco de boca ancha *a b* (*fig.* 122), la parte inferior de un barómetro *c d*, en el qual supongo el mercurio á 28 pulgadas de altura; y á mas la temperatura del ayre á 15 grados. En seguida ciérrese exâctamente el frasco con un tapon, al traves del qual pasarán el tubo y la tabla del barómetro, de modo que no haya comunicacion alguna entre el ayre interior del frasco y el de la parte exterior; haciendo tambien de modo que la densidad del ayre interior no varie durante esta manipulacion. Luego que el frasco se haya cerrado, se mantendrá aun el mercurio del barómetro á las 28 pulgadas; cuyo efecto será siempre el mismo, todas las veces que se ponga todo este aparato á la misma temperatura de 15 grados, por muy largo que sea el tiempo que dure este experimento, y aun quando se extienda su duracion á un gran número de años.

910 Antes que se cierre el frasco, el ayre que contiene, comunicando con el de afuera, forma aun parte de la atmósfera, obra como pesado sobre el depósito del barómetro, y sostiene el mercurio á 28 pulgadas. En el instante en que se tapa el frasco, esta misma masa de ayre no tiene más que su propio peso, que es muy poca cosa; pero ha sido comprimida por el peso de la atmósfera, y conserva su densidad; sosteniendo aun, por su reaccion, que es

Digitized by Google

igual á este peso (112), el mercurio á 28 pulgadas. Luego, 1.° el resorte del ayre es igual á la potencia que le comprime: 2.° este resorte es inalterable (908); pues que no se debilita nada por la sucesion de tiempo, á causa de verificarse el mismo efecto, por mucho que sea el tiempo que se tenga la misma masa de ayre en experimento.

911. Los hemisferios de *Magdebourg*, inventados por *Otto-de-Guerike*, corregidor de *Magdebourg*, prueban tambien la presion del resorte del ayre. Estos hemisferios son dos semiesferas cóncavas de laton *a b* (*fig.* 123), de las quales la una está guarnecida de una llavecilla *c*, por la qual puede ajustarse á la máquina neumática; y la otra tiene un anillo *d* enmedio de su convexidad, para suspenderle fácilmente. Se une estos dos hemisferios formando con ellos una especie de globo; y á fin de que su union sea mas fácil y mas exácta, tiene el uno de los dos *b* guarnecidos sus bordes de un anillo plano *e f*, cuya anchura sobresale tanto hácia fuera como hácia adentro: se pone en este anillo otro anillo de cuero mojado, sobre el qual se colocan los bordes del otro hemisferio *a* que se ha tenido cuidado de disponer bien. Todo arreglado de este modo, y adaptada la llavecilla *c* á la rosca que está en el centro de la platina de la máquina neumática, no se necesita para separar estos dos hemisferios mas que vencer el peso del hemisferio superior *a*, á causa de que el ayre que está entre ellos hace, por su resorte, equilibrio á la presion del ayre exterior (909). Pero si abierta la llavecilla *c*, se hace obrar la bomba, y se extrae el ayre que está entre los dos hemisferios, y que contrabalancea la presion del ayre exterior, ya no se puede separar los hemisferios mas que con una fuerza muy grande. Ciérrese la llavecilla *c*, y quítese los hemisferios

de la máquina neumática: suspéndaseles á un punto fixo, y cuelgueseles unos pesos: será preciso para que estos pesos puedan separar al uno del otro, que sean tanto mas considerables, quanto el diámetro de los hemisferios es mas grande, y quanto mas exâctamente se ha hecho en ellos el vacío. Si los hemisferios tienen 6 pulgadas de diámetro, y se hace en ellos un vacío perfecto, se necesitará para separarlos 436 libras por lo ménos.

912 No puede atribuirse este efecto mas que á la presion del ayre exterior que no está contrabalanceada con el resorte del ayre interior de los hemisferios, el qual se halla tanto mas disminuido, quanto mas se ha disminuido su densidad. La prueba de esto es que si se dexa entrar el ayre entre los dos hemisferios, abriendo la llavecilla *c*, se separan con el menor esfuerzo; por la razon de que siendo equivalente á la presion del ayre exterior el resorte del ayre interior (909), se destruyen mútuamente estas dos fuerzas, ó mas bien se hacen equilibrio; en cuyo caso es suficiente el vencer el peso de uno de los dos hemisferios, para separarle del otro.

913 Se prueba tambien mas claramente esto, metiendo estos hemisferios, vacíos de ayre, baxo un recipiente de la máquina neumática, y disminuyendo la densidad del ayre del recipiente otro tanto como se ha disminuido la del ayre de lo interior de los hemisferios; en cuyo caso se los separa fácilmente levantando un poco el anillo *d* que tiene enganchado al hemisferio superior. Y si, aplicándolos de nuevo el uno al otro, se hace de modo que el ayre pueda entrar baxo el recipiente, sin que entre en los hemisferios, se hallan estos unidos de nuevo el uno al otro, y tan fuertemente como lo estaban ántes; lo qual prueba muy bien que la causa de su adherencia es la presion del ayre exterior.

Digitized by Google

914 En conseqüencia de estos principios se hace el vacío por medio de la máquina neumática; pues quando se aplica un recipiente sobre la platina, como hemos dicho (911) que se aplica el hemisferio superior sobre el inferior, y quando se hace descender el émbolo de un extremo al otro de la bomba, se dexa un espacio sin ayre, en el qual se extiende el del recipiente en virtud de su elasticidad (903), quedándose por esta causa con ménos densidad que la que tenia ántes. Luego la presion del ayre exterior es la que une el recipiente á la platina, y tanto mas fuertemente le une quanto mas se ha disminuido la densidad del ayre del recipiente.

915 La dilatacion del ayre del recipiente sigue á cada golpe de émbolo, la relacion de las capacidades del recipiente y de la bomba. Si la capacidad del recipiente es dupla de la de la bomba, pasará á la bomba, al primer golpe de émbolo, un tercio del ayre del recipiente; y por conseqüencia se habrá disminuido un tercio la densidad de este ayre: al segundo golpe de émbolo pasará tambien un tercio de los dos tercios que quedan; y al tercero, quarto, centesimo, &c. golpe de émbolo, no pasará jamas á la bomba mas que un tercio del ayre que queda en el recipiente, á causa de que disminuye siempre la densidad de este ayre en proporcion geométrica y no aritmética. Luego quedará siempre en el recipiente los dos tercios del último resto de ayre. De adonde se sigue que una máquina neumática, por perfecta que sea, no puede jamas producir un vacío perfecto; de lo que se tendrá una prueba adaptando á la máquina neumática un recipiente en el que se haya colocado la parte inferior de un barómetro; y suponiendo que el mercurio se halle en este barómetro á 27 pulgadas y 9 líneas, y que la capacidad del recipiente sea dupla de la bomba, ba-

Digitized by Google

xará el mercurio al primer golpe de émbolo 9 pulgadas y 3 líneas, tercio de 27 pulgadas y 9 líneas, y se fixará á 18 pulgadas y 6 líneas: al segundo golpe de émbolo baxará 6 pulgadas y 2 líneas, tercio de 18 pulgadas y 6 líneas, y se fixará á 12 pulgadas y 4 líneas, y así de seguida. Luego la densidad del ayre disminuirá en la misma relacion, á causa de que la altura de la columna de mercurio es siempre proporcional á la densidad del ayre que la sostiene, y por conseqüencia á su resorte; ya que este aumenta ó disminuye como su densidad (909).

916 Luego se puede conocer con el auxílio de un barómetro los diferentes grados de dilatacion ó de densidad del ayre de un recipiente, en el qual se haga en parte el vacío.

917 Hemos dicho arriba (909) que el resorte del ayre es tanto mas activo, quanto mayor densidad tiene; de lo qual es una prueba el experimento precedente (915); y tambien lo que sucede con la *escopeta de viento*, arma que todos conocen, por medio de la qual se despide una bala con tanta mayor fuerza y á tanta mayor distancia, quanto mas se ha condensado el ayre, del depósito de la escopeta.

918 La fuente de compresion nos da tambien una prueba de la actividad del resorte del ayre fuertemente condensado. Se llama *fuente de compresion* una vasija de adonde se hace salir el agua por encima de su nivel, en virtud del resorte del ayre muy condensado; cuya fuente está compuesta de una vasija de metal *a b* (*fig.* 124), á la qual se le da la forma que se quiere, por exemplo, la de una pera colocada sobre un pie *c d*: se mete dentro de ella un tubo *e f* abierto por una y otra parte, guarnecido de una llavecilla *g* que se ajusta á rosca con la vasija, y del que el extremo inferior *f* desciende has-

Digitized by Google

ta una línea cerca del fondo. Para hacer uso de esta fuente se la llena de agua por el agujero por donde se ajusta el canal *e f*, quasi hasta los dos tercios de su capacidad, por exemplo, hasta *a b*: se vuelve á poner el tubo en su lugar, y desatornillando el cañoncillo *e*, se pone en su lugar la bomba compresiva *a b* (*fig.* 125), con la qual se hace entrar á fuerza mucho ayre en la vasija; despues de lo qual, cerrando ántes la llevecilla *g* (*fig.* 124), se quita la bomba para atornillar en su sitio el canutillo *e* que tendrá uno ó muchos agujerillos. Es preciso observar que la bomba (*fig.* 125) recibe el ayre por un agujero hecho en *c*, por cima del qual sube el émbolo; el que al descender obliga á pasar al ayre por un agujerillo hecho en el fondo, y sobre el qual se halla á la parte de afuera una válbula, cuyo oficio es el impedir la subida del ayre ó del agua á la bomba quando se levanta de nuevo el émbolo.

919 Impelido de este modo el ayre por el émbolo, desciende por el tubo *e f* (*fig.* 124), y en seguida atraviesa el agua, mediante su ligereza respectiva, y va á unirse al ayre que ocupa el sitio *a e b*, del que aumenta otro tanto la densidad. Este ayre, así comprimido y cuyo resorte iguala siempre la potencia que le comprime (909), tiene una fuerza elástica muy superior á la presion del ayre exterior que hace resistencia en el orificio *e* del tubo; cuya fuerza despleglándose sobre la superficie *a b* del agua, la obliga á subir por el tubo *f e*, con tanta mas velocidad, quanta mayor es la diferencia que hay entre la densidad del ayre que está encerrado en la vasija, y la del ayre exterior.

920 Luego que se ha comprimido fuertemente el ayre en *a e b*, si se abre la llavecilla *g* sale el agua en forma de surtidor, subiendo primero á la altura de cerca de 25 ó 30 pies; pero como el ay-

Digitized by Google

re que arroja el agua, aumenta de volúmen, y por conseqüencia disminuye de densidad á proporcion que la vasija se vacia, se disminuye su resorte cada vez mas y en la misma relacion (909), por cuya causa va siendo el surtidor cada vez de menor altura.

921 Se puede emplear útilmente para la elevacion del agua el resorte del ayre comprimido por una columna de agua. *Heron* de Alexandría, que vivia 120 años ántes de Jesuchristo, fué el primero que empleó este medio, como se puede ver en la fuente de su invencion, que se compone de dos caxas de metal *a b*, *e f* (*fig.* 126), á las quales se les da la forma que se quiere, y que estan unidas por unos tubos de la misma materia *c d*, *i k*, *m l*, y coronada de un platillo *g b*; el todo colocado sobre un pie qualquiera. El platillo *g b* comunica con la caxa superior *a b* por medio del tubo *c d*, abierto en *d*, y que tiene en *c* un cañoncillo que se desatornilla quando es necesario; el qual tubo, teniendo su tuerca en el fondo del plato, se puede quitar y volver á poner en su sitio segun que lo exija la necesidad. El mismo plato *g b* comunica con la caxa inferior *e f* por medio del tubo *i k*, abierto en sus dos extremos, y que llega hasta cerca del fondo de la caxa. En fin las dos caxas se comunican entre sí por medio del tubo *m l*, tambien abierto en los dos extremos, y que atraviesa la caxa superior *a b* en quasi toda su altura. Para hacer obrar esta fuente, se llena de agua hasta sus tres quartas partes la caxa superior *a b*, desatornillando el tubo *c d*, que se vuelve á poner en seguida en su sitio; despues de lo qual se echa agua en el plato *g b* de modo que se mantenga siempre lleno el tubo *i k*.

922 Esta columna de agua, que tiende á esparcirse en la caxa inferior *e f*, comprime con su pe-

Digitized by Google

so la masa de ayre de que está llena; cuyo ayre así comprimido, se escapa por el tubo *l m*, y va á desplegar su resorte sobre la superficie *a b* del agua que está en la caxa superior: en fin este agua comprimida por el resorte del ayre, se escapa en forma de surtidor por el tubo *d c*, á la extremidad *c* del qual se coloca un cañoncillo, que se puede llenar, si se quiere, de muchos agujerillos para formar un conjunto de surtidores de agua.

923 Se ve que por este medio pasa el agua de la caxa superior *a b* al plato *g h*, y que baxa desde este plato á la caxa inferior *e f*, manteniendo siempre lleno el tubo *i k*. Despues de la operacion se desocupa la caxa inferior por medio de la llavecilla *n* que está debaxo.

924 Es fácil de concebir que en lugar de formar un surtidor, se podria, por el mismo medio, elevar agua á una cierta altura, segun las circunstancias; para lo qual, se necesita tener un sitio elevado, á cuya media altura se halle un manantial algo abundante. De las dos caxas, que podrán ser de madera, se colocará la superior un poco mas abaxo del manantial, por medio del qual se la suministrará el agua necesaria, que será la que se quiera elevar; y en lo baxo se colocará la caxa inferior: se hará que se comuniquen las dos caxas por medio de unos tubos, como hemos indicado arriba (921); y en lugar del cañoncillo que tiene el tubo *d c*, se pondrá un tubo ascendente que tenga una altura un poco menor que la distancia perpendicular que se halla entre las dos caxas; cuyo tubo ascendente, estando bien atornillado á la caxa, se dexará correr el manantial de modo que tenga siempre lleno el tubo análogo al tubo *i k*. Se ve que de este modo el agua de la caxa superior, en lugar de elevarse en forma de surtidor, se eleva por el tubo as-

Digitized by Google

cendente hasta la altura que se quiera; por cuyo medio se podria elevar la quarta ó quinta parte del agua que surte el manantial. Quando se ha acabado el agua de la caxa superior, se echa en ella otra nueva, y se vacia la que ha baxado á la caxa inferior; despues de lo qual dexando correr el manantial sobre la abertura del tubo *i k* vuelve á comenzar la subida del agua.

925 Sirve tambien el resorte del ayre para hacer que sea continua la salida del agua de una bomba que no tiene mas que un émbolo, como lo hemos explicado ya (428 y 429), hablando de la bomba de incendio.

926 Aplicado el calor á una masa de ayre, produce sobre ella uno de estos dos efectos: 1.° aumenta su volúmen, en caso que este volúmen tenga la libertad de poderse extender: 2.° si la masa de ayre está retenida por algunos obstáculos, de modo que su volúmen no pueda extenderse, aumenta su resorte el calor, y tanto mas quanto mas grande es la presion que sufre la masa de ayre.

927 1.° *El calor aumenta el volúmen del ayre* en caso que este volúmen tenga la libertad de poderse extender. Para asegurarse de esto, tómese un tubo de cristal de dos pies de largo, cuyo diámetro interior esté bien calibreado en toda su longitud, á fin que longitudes iguales den capacidades semejantes, y que uno de los extremos de este tubo se halle cerrado herméticamente: métase este tubo en toda su altura, y con el extremo abierto hácia arriba en agua hirviendo, haciendo de modo que no entre humedad alguna en su interior: retírese el tubo del agua algunos momentos despues, y sumérjase su extremo abierto en mercurio un poco caliente, á fin de que no salte el tubo: téngasele así algun tiempo en una situacion quasi horizontal, y á proporcion que

Digitized by Google

el todo se enfriará, se verá al mercurio pasar al tubo. Para tener un segundo término de temperatura fixa, rodeese de nieve machacada la porcion del tubo que contiene el ayre; y quando se haya enfriado al término de yelo, ocupará el mercurio el tercio de la longitud del tubo, y los dos tercios restantes estarán llenos de ayre. Si se hace pasar de nuevo el tubo al calor del agua hirviendo, le llenará todo entero el ayre que ocupaba ántes sus dos tercios. Luego, 1.° *el calor aumenta el volúmen del ayre*; luego 2.° *un volúmen de ayre comprimido por el peso de la atmósfera, y condensado por el frio de la nieve, es al volúmen del mismo ayre, enrarecido por el calor del agua hirviendo, como* 2 *es á* 3. Si el calor fuera duplo de el del agua hirviendo, en este caso el volúmen del ayre condensado por la nieve seria al volúmen del mismo ayre enrarecido por este calor, como 1 es á 3, &c.

928 Estos resultados son susceptibles de algunas variaciones, segun la altura del mercurio en el barómetro, es decir, segun el valor de la presion de la atmósfera durante el experimento (305); cuyas variaciones serian mucho mas grandes, si se emplease un ayre húmedo; cosa que se debe evitar lo mas que se pueda.

929 Se sigue de aquí que si se calienta un vaso lleno de ayre se queda vacío en parte; cuyo medio es el que se toma quando se quiere introducir un líquido en un vaso que tiene la boca tan pequeña que no permite la entrada al tubo de un embudo. Al calentar el vaso se enrarece el ayre que contiene, con lo qual se le hace perder una parte de él: en seguida se sumerge el orificio del vaso en el líquido; y á proporcion que el ayre interior se condensa enfriándose, la presion del ayre exterior introduce el líquido en el vaso.

Digitized by Google

930 2.° *El calor aumenta el resorte del ayre, á proporcion de la presion que sufre*, siempre que su volúmen no pueda extenderse. Supongamos un tubo de cristal *a b* (*fig.* 127) de 5 á 6 pies de largo, que tenga interiormente á lo mas $1\frac{1}{2}$ líneas de diámetro, recurvado en *d b c*, y terminado por una bola hueca y delgada *c*, que tenga cerca de 6 pulgadas de diámetro, y cuyo tubo esté fixo sobre una tabla graduada en pulgadas y líneas. Se echa mercurio en el tubo tanto como sea preciso para llenar la curvatura, de modo que puesto verticalmente el instrumento se halle el mercurio á nivel en el uno y en el otro brazo, segun la línea de puntos *d c*. Se ve claramente que es preciso para esto que el ayre de la bola sea de la misma densidad que el ayre exterior, cuya presion sostiene (903). Supongamos que al tiempo del experimento sea igual esta presion á la de una columna de mercurio de 28 pulgadas. Si se sumerge en el agua hirviendo la parte inferior del instrumento, de modo que la bola *c* quede enteramente metida en el líquido, se elevará el mercurio en el brazo largo 9 pulgadas y 4 líneas por cima de su nivel, cuyas 9 pulgadas y 4 líneas son el tercio de 28 pulgadas. Si despues de haber dexado enfriar el todo se aumenta en el brazo largo una columna de mercurio de 28 pulgadas por cima de su nivel, se habrá doblado la presion que padece el ayre de la bola, y por conseqüencia su densidad (899). Sumérjase de nuevo la bola en el agua hirviendo, y se elevará el mercurio 18 pulgadas y 8 líneas por cima del punto adonde se hallaba ántes de la inmersion, cuyas 18 pulgadas y 8 líneas son el tercio de 56 pulgadas, medida de la presion del ayre de la bola. De modo que este ayre hace entónces equilibrio, por su resorte, á una potencia igual al peso de 74 pulgadas y 8 líneas de

Digitized by Google

mercurio; á saber, al peso de la atmósfera igual á 28 pulgadas de mercurio, al peso de las 28 pulgadas añadidas, y al peso de las 18 pulgadas y 8 líneas elevadas. Luego 1.° *el calor aumenta el resorte del ayre.* Luego 2.° *el calor del agua hirviendo aumenta el resorte del ayre una cantidad igual al tercio de la presion que sufre*, pues que quando padece una presion doble aumenta su resorte una cantidad doble. Si se aplicase á este ayre un calor doble de el del agua hirviendo, aumentaria su resorte una cantidad igual á los dos tercios de la presion que padece, &c.

931 En estos experimentos faltan algunas cortas cantidades para que el mercurio se eleve á las alturas que hemos indicado; lo qual proviene de que el volúmen del ayre de la bola se extiende un poco, por dos razones; 1.ª porque el mercurio que se eleva en el brazo largo, es parte del que se halla en el brazo corto; lo qual es causa de que le quede al ayre de la bola un poco de sitio para extenderse; 2.ª porque, como lo veremos mas adelante (1133), la capacidad de la bola se hace mas grande en el agua cáliente. Luego la densidad del ayre contenido en ella disminuye un poco; por cuya causa no aumenta tanto la fuerza de su resorte como aumentaria sin esto. Pero la diferencia es muy corta.

932 De lo que acabamos de decir arriba (930) se sigue, que *el resorte de una misma masa de ayre aumenta en cantidades diferentes, segun los diferentes grados de calor á los quales se halla expuesta.* Sobre este principio está fundada la construccion del termómetro de ayre de *Amontons*, que es el primero en donde los grados de calor se refieren á un término conocido (*Memorias de la Academia año de* 1702, *pág.* 155).

Digitized by Google

933 Es fácil ahora el conocer la razon por la qual el ayre de una pieza calentada por medio de una estufa, aunque enrarecido por el calor, hace no obstante equilibrio á la presion de la atmósfera; lo qual proviene de que el calor que disminuye la densidad del ayre, aumenta al mismo tiempo su resorte, compensando el aumento de lo uno la disminucion de lo otro; de lo qual se tiene una prueba en los globos aërostaticos.

934 *El ayre atmosférico es no solamente el fluido esencial para el mantenimiento de la vida de los hombres y de los animales, sino que tambien es el mas á propósito para esta funcion.* Hemos hecho ver arriba (643) que está compuesto el ayre de la atmósfera de una parte de un fluido esencial para la respiracion de los hombres y de los animales, y de tres partes de una mofeta, que si estuviese sola, seria capaz de sofocarlos. Hemos probado á mas (662) que esta parte esencial para la respiracion, y que es el ayre puro ó vital, es la única que hay propia para ello, por la razon de que teniendo su base (*el oxígeno*) una muy grande afinidad con una materia carbonosa que se halla en la sangre y los pulmones, se combina muy fácilmente con ella, y abandona por esto una porcion de la gran cantidad de calórico que entra en su composicion, cuyo calórico permanece para el mantenimiento de la vida, para el qual es esencial. Las bases de los otros fluidos elásticos no gozan en modo alguno de esta grande afinidad con el carbono, ni abandonan así su calórico, y por conseqüencia no pueden servir para el mantenimiento de la vida. Luego *el ayre puro es el único que hay propio para esta funcion.* Hemos hecho ver tambien (663) que si respirasemos solo este ayre puro tan propio para el mantenimiento de la vida, podria hacernosla perder en muy poco tiem-

Digitized by Google

po, á causa de la grande cantidad de calórico de que impregnaria todo nuestro ser; lo que podria causarnos una fiebre ardiente, y ocasionar una inflamacion en los pulmones. Luego nos es esencial el respirar el ayre puro, pero en términos que no sea demasiado abundante; siendo preciso que su actividad quede templada con otro fluido que no abandone, como él, su calórico; del mismo modo que templamos, por medio del agua, la fuerza de los licores espirituosos. Este fluido es el gas azótico (673), el qual compone cerca de las tres quartas partes del ayre atmosférico, y el que no solamente sirve para templar la actividad del ayre puro, sino que su base (*el azoe*) entra en la composicion de las carnes, y sirve para animalizarlas (676). De todo lo que acabamos de decir se sigue lo que hemos propuesto, que *el ayre atmosférico es no solamente el fluido esencial para el mantenimiento de la vida de los hombres y de los animales, sino que tambien es el mas á propósito para esta funcion.*

935 Luego no debe mirarse como cosa extraña el que perezca un animal quando se le introduce baxo un recipiente aplicado á la máquina neumática, y se hace el vacío en él; pues que se le priva entónces del fluido que puede solo suministrarle el principio de la vida.

936 Los animales no perecen todos en el vacío tan prontamente los unos como los otros: aquellos que tienen dos ventrículos en el corazon, como los hombres, los quadrúpedos, los páxaros y probablemente los cetáceos, perecen en él al cabo de algunos minutos; y los que no tienen mas que un ventrículo en el corazon, como los reptiles y los peces, se sostienen muchas horas en el vacío sin perecer: sin duda que los primeros tienen necesidad de una

Digitized by Google

cantidad de calórico mucho mas considerable que la que necesitan los segundos.

937 A la privacion del ayre en el vacío se une otra causa que hace perecer en él á los animales mas prontamente que perecerian sin ella; cuya causa es la dilatacion del ayre alojado en las diferentes cavidades del cuerpo, y del que se halla en los poros de los fluidos. No estando ya sometido este ayre á la presion de la atmósfera, se dilata por la fuerza de su resorte (903), y si no halla salida dilata las partes que le contienen destrozándolas las mas veces; pues que se encuentran freqüentemente algunos vasos rotos en el pecho de los animales que han permanecido algun tiempo en el vacío. Sucede tambien algunas veces, á los animales que se hallan en el vacío, el tener nauseas, y el vaciarse por arriba y por abaxo; á causa de que dilatándose el ayre del estómago y de los intestinos, se lleva delante de él los alimentos aun no digeridos, y los excrementos que le impiden el paso. Esta dilatacion es la que vacia la vexiga nadadera de los peces.

938 Los animales que viven siempre en el agua necesitan de ayre como los demas: los peces saben apropiarse el que se halla diseminado en el agua; y á mas salen freqüentemente á la superficie de ella para tomar ayre de nuevo y en mayor cantidad. Si mueren en los estanques baxo del yelo, no tiene duda que es á causa de la falta de ayre; pues que no perecen si se tiene cuidado de romper el yelo por diferentes partes; en cuyas circunstancias no tienen que temer los animales la dilatacion del ayre alojado en las diferentes cavidades de sus cuerpos (937), por la razon de que permanecen expuestos á la presion de la atmósfera. Quando la privacion de ayre no es de una larga duracion, se puede aun volver-

Digitized by Google

los á la vida; siendo esto lo que sucede freqüentemente con respecto á los ahogados, y á los que no estan mas que simplemente asfixiados.

939 *El ayre que ha servido un cierto tiempo para la respiracion, no es ya bueno para el mantenimiento de la vida*; porque como hemos dicho arriba (662), el ayre puro, que es la única porcion de la atmósfera propia para la respiracion, se descompone en el pecho, y se convierte allí en gas ácido carbónico (733), que es un fluido sofocante. Esta es la causa de que, quando se hallan muchas personas encerradas en un sitio estrecho y exâctamente cerrado, se respire en él con trabajo al cabo de poco tiempo, si no se tiene cuidado de abrir para que se renueve el ayre. Asimismo es muy comun el no poder respirar con facilidad en sitios grandes y abiertos por muchas partes, quando hay en ellos mucha gente reunida, y muchas luces; por la razon de que cada persona gasta una porcion de ayre bastante considerable en poco tiempo, y cada luz gasta sobre corta diferencia otro tanto como un hombre. Luego será muy acertado el renovar lo mas que se pueda el ayre que se respira; para lo qual hay muchos medios, entre los quales se puede escoger.

940 *El ayre, y principalmente el ayre puro, es esencial para la combustion de los cuerpos*; de modo que las materias mas combustibles no pueden inflamarse si no estan en contacto con el ayre; y las que se hallan ya encendidas se apagan prontamente si carecen de él; lo qual proviene de que, como hemos dicho ántes (664), la combustion no es mas que una combinacion del oxîgeno (base del ayre puro) con el cuerpo combustible: luego si falta este oxígeno no puede verificarse la combustion. He aquí porque todos los cuerpos combustibles, ó no se inflaman, ó se apagan prontamente en el vacío.

Digitized by Google

Estos mismos cuerpos no se encienden jamas, ó se apagan prontamente si ya estan encendidos, quando se los introduce en alguno de los fluidos elásticos, como no sea el ayre puro ó el ayre atmosférico (671 *y siguientes*); y aun en este último no hay mas que el ayre puro, el qual compone la quarta parte de él, que sea propio para la combustion (643). Quando se ha consumido esta quarta parte se apaga el cuerpo que ardia en el ayre atmosférico, si no se renueva el ayre: tambien se hace cesar un incendio si se puede tapar por todas partes el sitio en donde se ha comenzado, con tal que sus paredes sean bastante fuertes para resistir á los esfuerzos de los vapores producidos en el principio del incendio.

941 *El ayre se aloja en los poros de quasi todas las sustancias*, sobre todo, en los que estan mas abiertos, y hácia la superficie. Quatro son los medios que hay para extraer el ayre alojado así en los poros de los cuerpos. El primero es el calentarlos fuertemente; el segundo el enfriarlos considerablemente; el tercero el tenerlos durante algun tiempo en el vacío; y el quarto el disolverlos en algunos menstruos.

942 1.° Al calentar un cuerpo se hace salir, á lo ménos en gran parte, el ayre que está alojado en sus poros; por la razon de que aumentando el calor el volúmen del ayre (927), no puede este volúmen aumentado estar contenido en los poros, cuya capacidad no ha crecido proporcionalmente á la rarefaccion del ayre: luego es preciso que salga una gran parte de él. En efecto se ve y se percibe la salida del ayre de las carnes y demas cosas que se hacen cocer, de las maderas que se queman, y de los licores que hierven; en cuyo último caso se ve el ayre que, enrareciéndose por el calor, se for-

Digitized by Google

ma en bolas enmedio del licor, le atraviesa, y sale á su superficie.

943 2.° Haciendo enfriar considerablemente un cuerpo, se hace salir una parte del ayre que está alojado en sus poros: todos los cuerpos que se enfrian se condensan: sus partes se acercan las unas á las otras (23); lo qual no puede suceder sin que los intersticios que se hallan entre sus moléculas lleguen á ser mas pequeños, y sin que sus poros se estrechen; y esto es lo que obliga á salir á una parte del ayre que estaba contenido en ellos, así como se hace salir el agua de los poros de una esponja mojada quando comprimiéndola se acercan sus partes.

944 3.° El ayre que está alojado en los poros de los cuerpos se desprende de ellos quando se pone á estos cuerpos en el vacío por algun tiempo. Echese en un vaso de cristal lleno de agua clara diferentes cuerpos, tales como un pedazo de madera, una piedra blanda, ú otro qualquier cuerpo sólido y muy poroso, de modo que queden enteramente sumergidos: colóquese este vaso sobre la platina de la máquina neumática, y cúbrasele con un recipiente; y á proporcion que se hará obrar la bomba para sacar el ayre del recipiente, se verá salir del cuerpo sumergido una gran cantidad de bolas de ayre, que atravesando el agua irán á romperse á su superficie, y á mezclarse con el ayre que queda en el recipiente. Luego en este caso se desprende el ayre de los poros.

945 El ayre que está en los poros de los cuerpos es tan denso como el de la atmósfera, pues que sostiene la presion de ella (898): en el momento en que se le quita una parte de esta presion, metiéndole en el vacío, se dilata por la fuerza de su resorte (903), y sale de los poros en cantidad tanto mas grande, quanto mas se le acerca al vacío

Digitized by Google

perfecto, como se ve al obligarle á atravesar el agua; porque si pasase inmediatamente al ayre del recipiente, no se le veria. Este ayre que sale de los poros toma siempre la forma de globulillos esféricos; que es lo que sucede á qualquiera fluido que se halla oprimido igualmente en todas direcciones por otro fluido.

946 En tanto que este cuerpo permanece en el vacío, la porcioncilla de ayre dilatado que ha quedado en sus poros sostiene por su resorte la presion del agua que rodea al cuerpo; pero en el instante en que se dexa volver á obrar la presion de la atmósfera, haciendo entrar el ayre baxo el recipiente, se condensa de nuevo este ayre dilatado, y esta nueva presion obliga á entrar al agua en los poros, á ocupar el sitio del ayre que ha salido de ellos; de modo que el cuerpo se halla freqüentemente embebido de ella hasta el centro.

947 Se desprende tambien el ayre de los poros de los licores que se tiene algun tiempo en el vacío: póngase diferentes licores baxo un recipiente, y hágase el vacío en él: á proporcion que se extraerá el ayre del recipiente, el que está en los poros del licor se reunirá en bolas, que aumentarán en número y en magnitud, y que atravesarán el licor, por lo regular, con la rapidez necesaria para levantar una porcion de él, de modo que parezca una ebullicion bastante semejante á la que se produce por la accion del fuego: esto es lo que sucede quando el licor es fácil de dividir, así como lo son el espíritu de vino y el agua; pero quando el licor es viscoso, como la cerbeza, no pudiendo romper las bolas de ayre sus cubiertas, levantan consigo el licor en forma de espuma. En fin siempre se verifica lo que hemos dicho arriba (945), esto es, que en suprimiendo la presion de la atmósfera, se da

Digitized by Google

lugar á que se desprenda el ayre que está en los poros del licor.

948 4.° El ayre que está alójado en los poros de los cuerpos se desprende de ellos quando se disuelve estos cuerpos en algunos menstruos: desunidas y subdivididas por el disolvente las moléculas del cuerpo que se disuelve, dexan libres y aisladas las partículas de ayre que se hallaban entre ellas; cuyas partículas se escapan con facilidad; lo qual se ve claramente si se echa sal ó azucar en un vaso lleno de agua; pues que durante quasi todo el tiempo de la disolucion estan subiendo las bolas de ayre á lo alto del vaso; en términos que algunas veces iguala su volúmen quasi al de la sal ó azucar que se ha hecho disolver.

949 Al descomponer los cuerpos los filósofos antiguos, por medio de la destilacion, fermentacion ó combustion, creyéron extraer de ellos cantidades considerables de ayre, y cuyo volúmen, aunque sujeto á la presion de la atmósfera, excedia un número muy grande de veces al de los cuerpos puestos en experimento; pero padecian engaño: 1.° por lo regular estos fluidos no eran ayre; sino algunos de los fluidos elásticos de que hemos tratado ántes, *capítulo X*: 2.° estos fluidos no estaban contenidos en las sustancias que parecia producirlos; sino que solo habia en ellas las bases de estos fluidos (609); las quales, combinándose con la materia del calor ó el calórico, tomaban la apariencia aëriforme.

950 Luego que se ha hecho salir al ayre de los poros de un cuerpo, si se expone á este de nuevo al ayre libre, vuelve á tomar mas ó ménos prontamente el que ha perdido. *Mariotte* (*Essai sur la nat. et les prop. de l'air*, *pag.* 163) se aseguró de este hecho con un experimento muy simple. Despues de haber purgado de ayre una cierta cantidad de

Digitized by Google

agua, 1.° haciéndola bullir (942); 2.° teniéndola durante algun tiempo en el vacío (944); llenó de ella una redomilla, y la invirtió, la boca hácia abaxo, en un vaso lleno de la misma agua, habiendo ántes tenido cuidado de introducir en lo alto de la redoma una bola de ayre del grueso de una avellana: hecho esto vió disminuir poco á poco de magnitud esta bola de ayre, y que desapareció en fin del todo al cabo de cerca de tres dias: esto prueba evidentemente que esta bola de ayre se habia insinuado lentamente en los poros del agua, los quales se hallaban vacíos de su propia sustancia. Es probable que sucede lo mismo á otra qualquier materia, hallándose solo variedad en la cantidad de ayre introducida, y en el tiempo que tarda en introducirse. Se concibe fácilmente que un cuerpo purgado de ayre, y expuesto de nuevo al ayre libre, debe ser considerado como una esponja apretada fuertemente, y que se aplica despues á la superficie de un líquido; pues que se sabe que en semejante caso se insinua el líquido en los poros de la esponja: de la misma manera se insinua el ayre, ayudado sobre todo por la presion de la atmósfera, en los poros del cuerpo que se halla purgado de él.

El ayre considerado como atmósfera terrestre.

951 En qualquier sitio de la tierra en que nos hallemos, encontramos ayre por todas partes; sea en el clima que se quiera, ya sobre la cumbre de las mas altas montañas, ó ya en los valles mas profundos. Luego la tierra está enteramente rodeada de ayre; á cuya capa ó cubierta de este fluido es á lo que se llama *atmósfera terrestre*: esta atmósfera pesa hácia el centro de la tierra y sobre su superficie (301); es llevada con ella participando de

Digitized by Google

su movimiento diurno y de su movimiento anuo; y tiene mucha parte en el mecanismo de la naturaleza, en virtud de todas las propiedades que vamos á detallar.

952 *La atmósfera es un fluido mezclado con una gran cantidad de sustancias extrañas.* Quando no tuvieramos un gran número de hechos propios para convencernos de esta verdad, bastaria el raciocinio solo para conducirnos á ella; por ser una opinion generalmente recibida el que nada se aniquila de todo quanto ha sido criado; y sin embargo, vemos todos los dias disiparse y desaparecer á nuestros ojos una infinidad de sustancias. ¿Qué es lo que sucede con ellas si no pasan al ayre? Los licores que se evaporan algunas veces hasta la sequedad; todas las partículas que vienen continuamente á herir nuestro olfato, abandonando las sustancias que las producen; todo lo que procede de los cuerpos que arden, sea en llama sea en humo; y en una palabra, todo lo que se exhala de la tierra y de las aguas, de los animales y de las plantas, entra en la atmósfera, y forma de ella un fluido cargado de exhalaciones y de vapores; y como en todos los tiempos y en todos los sitios no se encuentra siempre las mismas sustancias, debe variar su estado segun el tiempo y los sitios.

953 Podemos considerar la atmósfera baxo dos aspectos diferentes: 1.° como un fluido en reposo, á lo ménos respectivamente á nosotros; á causa de hallarse sus partes en un movimiento continuo, por el calor que las enrarece, por el frio que las condensa, por los vientos que las hacen mudar de sitio, &c.: 2.° como un fluido agitado.

Digitized by Google

La atmósfera considerada como un fluido en reposo.

954 Hemos probado arriba (301) que el ayre es un fluido pesado: ahora, el ayre es el que compone la atmósfera, luego la *atmósfera es pesada*: pero su pesantéz es lo mismo que la de un fluido ó la de un líquido, *luego debe crecer ó disminuir segun la altura perpendicular de las columnas, y segun la latitud de sus bases* (294). En efecto, segun esta proporcion es como obra sobre la tierra y sobre todos los cuerpos que se hallan en su superficie; lo qual se ha comprobado con el experimento siguiente, imaginado por *Paschal* [1], y executado en la montaña de *Puy-de-Dome* por *Perrier* su cuñado.

955 Hemos hecho ver (301) que el peso de la atmósfera es el que sostiene al mercurio suspendido en el tubo de *Torricelli*, ó lo que es lo mismo en el barómetro: llevó pues *Perrier* á la montaña de *Puy-de-Dome* el tubo de *Torricelli*, fixo sobre una tabla graduada en pulgadas y líneas; y observó que á proporcion que iba subiendo hácia la cumbre, el mercurio baxaba en el tubo; y que al contrario se elevaba en él á proporcion que descendia hácia el pie de la montaña; luego la columna de mercurio sostenida por el peso de la atmósfera, era de mayor longitud en lo baxo que en lo alto. Ahora, qualquiera que sea la extension que se suponga á la atmósfera por cima de la superficie de la tierra, debemos creer que forma al rededor de nuestro globo una cubierta cuya superficie es uniforme y sobre corta diferencia esférica, pues que todas sus partes

[1] Véase la nota que á este asunto se halla en el tom. I, artículo 302.

Digitized by Google

tienden igualmente hácia el centro; del mismo modo que parece plana la superficie del agua, sea qual sea la figura que tenga el fondo del vaso que la contiene. Siendo esto así, las columnas de ayre, contando desde la superficie de la atmósfera hasta el sitio en donde se encuentran con la tierra, serán de mayor ó menor longitud segun lo mas ó ménos elevado del sitio en donde terminan: luego las que terminan en el pie de la montaña tienen mayor longitud, y por conseqüencia son mas pesadas que las que terminan en su cumbre; y esta es la causa de que estas últimas sostengan el mercurio á una altura menor que aquella á la que le sostienen las otras.

956 Para saber en qué consiste este mas ó este ménos, es preciso elegir un sitio elevado y accesible, del que se pueda, en diferentes estaciones, medir fácilmente la altura perpendicular; y previniendo dos barómetros bien comparables entre sí, se dexa el uno de ellos en lo baxo, con un observador atento que note si se verifica alguna variacion en la altura del mercurio, en tanto que otro observador lleva lentamente el otro barómetro hácia lo alto: á medida que este segundo observador sube, baxa el mercurio en el tubo; y cada vez que el mercurio baxa una línea, se mide la altura perpendicular del sitio en donde se ha hecho la parada. Habiéndose repetido este experimento muchas veces en diferentes tiempos, en diferentes sitios, y por diferentes físicos, se ha hallado, por un término medio, que la altura perpendicular de la columna de ayre correspondiente á una línea de mercurio era igual á cerca de 12 ½ toesas ó 75 pies. Se supone que no ha variado durante el experimento la altura del barómetro dexado en lo baxo; porque si ha habido en él alguna variacion, prueba esto que la ha ha-

Digitized by Google

bido en la presion del ayre, cuya variacion será preciso llevar en cuenta ántes de determinar el resultado.

957 Pero como el ayre de la atmósfera es un fluido compresible, y como se comprime por su propio peso (897), es claro que *la atmósfera no tiene una densidad uniforme en toda su extension*; y que las capas superiores, pesando sobre las inferiores, deben necesariamente apretar y condensar cada vez mas á estas últimas. De adonde se sigue que las columnas de ayre correspondientes á cada línea de descenso del mercurio, deben ser de tanta mayor longitud, quanto mayor sea la distancia de la superficie de la tierra á que se hayan tomado. Esto es en efecto lo que se ha observado; pero hasta una altura de 1000 ó 1200 toesas por cima del nivel del mar, son muy poco considerables las diferencias; sin duda porque la gran cantidad de cuerpos extraños de que está cargado el ayre en la region baxa, y el gran peso que le comprime, hacen su densidad quasi uniforme. *Cassini*, *Maraldi* y *de Chazelles* despues de un gran número de experimentos que hiciéron en diferentes tiempos y en diferentes lugares, sobre diversas montañas, cuyas alturas habian medido geométricamente, creyéron que las diferentes alturas perpendiculares correspondientes al subir, á cada línea de descenso del mercurio en el barómetro, crecian cada una un pie. Pero han pensado con mucha verosimilitud, que esta proporcion no continua mas allá de una media legua por cima del nivel del mar; porque á esta distancia de la superficie de nuestro globo, es el ayre mucho mas puro, su resorte mucho mas libre, y consiguientemente sus diferentes grados de densidad no dependen quasi mas que de la presion de las capas superiores.

958 Se podria, segun el mismo proceder, cono-

Digitized by Google

cer sobre corta diferencia, por medio del barómetro, las alturas perpendiculares de las montañas medianas; pero es preciso suponer siempre, que se sabe á que altura se halla el barómetro al nivel del mar, en tanto que se hace el experimento; ó que se conoce la elevacion del sitio en donde se halla el pie de la montaña, cuya altura se quiere medir. Acabamos de ver (956) que se puede contar desde el nivel del mar hasta una media legua de altura, 12 ½ toesas por cada línea de mercurio, añadiendo un pie por la primera, 2 por la segunda, &c. (957): luego si el pie de la montaña estuviera al nivel del mar, y el barómetro se mantuviese allí á 28 pulgadas, si en lo alto de la montaña se hallaba el barómetro á 23 pulgadas y 6 líneas, seria la diferencia 4 pulgadas y 6 líneas, ó 54 líneas; lo qual daria por altura perpendicular de la montaña 5535 pies, ó 922 ½ toesas.

959 *De Luc* (*Essai sur les differentes modifications de l'athmosphére*) dió una regla para medir la altura de las montañas con el auxílio del barómetro, que parece mas segura: consiste en observar la altura del barómetro en lo baxo y en lo alto del sitio cuya altura se quiere conocer; y en buscar en las tablas de logaritmos, que todas se hallan compuestas, los de estas alturas del barómetro expresadas en líneas; lo qual hecho, *la diferencia de estos logaritmos da la altura que se busca en milesimas de toesa.* Este medio es como se ve muy sencillo; pero es preciso no obstante hacer en él algunas correcciones. El calor, que enrarece todos los cuerpos y que varía quasi á cada instante, es causa de que en unas presiones semejantes, pueda ser de mayor ó menor longitud la columna de mercurio del barómetro, segun el grado de temperatura á que está aplicado. *De Luc* miró como término medio

Digitized by Google

de esta temperatura, para el mercurio, el de 10 grados por cima de cero del termómetro ordinario; é hizo, para corregir la altura de su barómetro, un termómetro, cuyo cero está colocado á estos 10 grados, y el que, desde allí hasta el grado del agua hirviendo, está dividido en 84: cada grado, en mas ó en ménos de este termómetro, vale $\frac{1}{16}$ de línea de mercurio, que es preciso quitar ó añadir á las alturas observadas del barómetro, ántes de tomar los logaritmos de ellas. Del mismo modo, el mas ó el ménos de calor hace que unas columnas de ayre de un mismo peso puedan ser mas ó ménos largas; y para reducirlas todas á una longitud constante, construyó otro termómetro propio para corregir la temperatura del ayre; cuyo termómetro tiene su cero colocado á 16 $\frac{3}{4}$ grados del termómetro ordinario; y desde allí hasta el grado del agua hirviendo está dividido en 147, y en 39 hasta el término de yelo. Con este instrumento es con el que determina la temperatura del ayre en lo baxo y en lo alto del sitio del que quiere conocer la altura; cuyas dos temperaturas una vez observadas, toma la mitad de su suma, y esta mitad es á lo que llama grado medio del termómetro: si una de estas temperaturas está por cima de cero y la otra por baxo, quita el término mas pequeño del mas grande, y el resto de la sustraccion es el grado medio. Hechas todas estas correcciones, multiplica la diferencia de los logaritmos por el duplo del grado medio del termómetro, y divide el producto por 1000; de modo que llamando a la altura corregida del sitio, b la diferencia de los logaritmos, y c el grado medio del termómetro, expresa el todo con esta fórmula $b + \frac{b \times 2c}{1000} = a$. La verdadera altura del sitio es

Digitized by Google

pues la diferencia de los logaritmos, mas ó ménos el quociente de esta division: mas este quociente si el grado medio del termómetro es positivo; y ménos este quociente si este grado es negativo.

960 Si se quiere saber la correspondencia de los dos termómetros de que acabamos de hablar, con el termómetro ordinario, se la hallará en mi *Diccionario de Física*, lámina 34; el termómetro ordinario baxo el núm. 1, y los otros dos baxo los números XII y XIII.

961 Seria un conocimiento interesante para nosotros el poder averiguar qual es la altura hasta adonde se extiende la atmósfera por cima de la superficie de la tierra: los físicos han trabajado bastante sobre este particular; el qual hubiera sido muy fácil de determinar, valiéndose para ello del barómetro, si el ayre de la atmósfera fuera de una misma densidad en toda su extension, pero no lo es (957). No seria esto tampoco nada difícil si conociesemos la progresion con que se dilata el ayre á medida que se alexa de la superficie de la tierra, y que está ménos cargado; pero acabamos de ver (957) que no tenemos este conocimiento mas que hasta la altura de cerca de una media legua por cima del nivel del mar; y aun esto es sobre poco mas ó ménos. Luego las alturas del mercurio en el barómetro, observadas al pie y en la cumbre de las montañas, no pueden darnos la altura de la atmósfera, pues que estas observaciones no se pueden hacer mas que en la parte inferior, é ignoramos qual es la densidad del ayre en la parte superior. Esto es lo que empeñó á *de la Hire* (*Memorias de la Academia, año de 1713, pág.* 54), segun una idea de *Kepler*, á servirse de un método mas sencillo y mas seguro; el qual está fundado en la observacion de los crepúsculos (1974). Convienen todos los astrónomos

una columna de mercurio de un pie quadrado de base y de 28 pulgadas de alto, pesa 2216 libras, 1 onza, 7 dracmas y 54⅓ granos; cuyo peso multiplicado por 15 (número de pies quadrados que contiene la superficie del cuerpo de un hombre), da por producto 33241 libras, 13 onzas, 4 dracmas y 23 granos. Y esta es la presion media que sufrimos á causa del peso de la atmósfera.

964 Pero esta presion, medida por la altura del mercurio en el barómetro, no es constante, como lo prueba la variacion de esta altura que es de 3 pulgadas; de adonde se sigue que la mayor diferencia entre las diversas presiones del ayre sobre nuestro cuerpo, es igual al peso de una columna de mercurio de 15 pies quadrados de base, y de 3 pulgadas de altura; cuyo peso es de 3561 libras, 10 onzas y 12⅓ granos. Sin duda que la presion tan grande del ayre que padecemos es un bien para nosotros; pues que quando subimos á las altas montañas, en donde esta presion es mucho menor (955), nos hallamos por lo regular incomodados en aquellas alturas.

965 Hemos hecho ver arriba (952) que la atmósfera es un fluido mezclado con una gran cantidad de sustancias extrañas que se elevan de la tierra al ayre. Todas las sustancias evaporables pasan al ayre al tomar el estado de vapor, y se elevan en él por su ligereza respectiva. A mas, *el ayre es un disolvente del agua*; de la qual tiene siempre en disolucion una cantidad demasiado grande. Para asegurarse de esto hágase el experimento siguiente.

966 Experimento. Mézclese en un vaso bien seco y limpio 2 libras de nieve machacada y 1 libra de sal marina ó muriate de sosa, lo que producirá un enfriamiento muy considerable (1092): déxese expuesto este vaso por algun tiempo en un sitio en donde no haga frio; y sus paredes exteriores se cu-

Digitized by Google

brirán poco á poco de una capa muy espesa de escarcha, que no es otra cosa mas que el agua disuelta en el ayre inmediato al vaso que le abandona al condensarse por el frio; del mismo modo que el agua muy caliente, que tiene mucha sal en disolucion, abandona una parte de ella al enfriarse (1055).

967 Se divide en dos clases las materias que se elevan de la tierra al ayre: la una comprehende todas aquellas que son de la naturaleza del agua; y en la otra estan comprehendidas las partes salinas, grasientas, espirituosas, &c. á las quales se da el nombre de *exhalaciones*. Todas estas sustancias, mezcladas ó modificadas diferentemente, toman diferentes formas, y producen diferentes fenómenos, á quienes se da el nombre de *meteoros*.

968 Luego los meteoros son unos fenómenos que se verifican en la atmósfera; y de los quales se distingue tres clases; á saber, los meteoros aquosos, los meteoros luminosos, y los meteoros igneos ó inflamados. No trataremos aquí mas que de los meteoros aquosos; de los luminosos hablaremos al tratar de la luz (1433 *y siguientes*), y de los inflamados al tratar de la electricidad (2597 *y siguientes*).

969 Los meteoros aquosos son todos aquellos que produce el agua que se halla en la atmósfera, sea en vapores, sea en disolucion. Tales son el sereno, el rocío, el rocío congelado, las nieblas, la escarcha, las nubes, la lluvia, la nieve y el granizo; todos los quales meteoros proceden de unas mismas causas, y estan compuestos de una misma materia, diferentemente modificada.

970 En la duracion del dia, calienta el sol la tierra, el agua, el ayre y todo lo que se halla expuesto á sus rayos. El calor comunicado á todos estos cuerpos, se debilita despues de puesto el sol;

Digitized by Google

no que basta el que se aproximen á este grado: lo que hace helar estas gotillas de rocío que forman el rocío congelado es, sobre todo, el enfriamiento ocasionado por la evaporacion (1169), la qual se aumenta mucho algunas veces con la primera accion del sol; sucediendo freqüentemente que el rocío, que no es aun mas que rocío ántes de que aparezca el sol, se convierte en rocío congelado pocos instantes despues de que este astro suba por cima del horizonte. Y quando, en este caso, se halla el sol bien brillante, entónces es quando el rocío congelado causa el mayor daño á las plantas y á los frutos; á causa de que siendo mas considerable la evaporacion, se hace tambien mas grande el enfriamiento.

974. Sucede algunas veces, por ciertas disposiciones de la atmósfera, y por un concurso de circunstancias bastante dificiles de determinar, que se eleva una grande cantidad de partículas aquosas, que no estan mas que imperfectamente disueltas en el ayre, ó que han tomado la forma de vapores groseros, que se extienden uniformemente en la parte baxa de la atmósfera: entónces turban estas partículas la transparencia del ayre, y forman lo que se llama *niebla*. Se sigue de aquí que las nieblas deben ser mas freqüentes en los lugares mas capaces de producir una gran cantidad de estas partículas aquosas; siéndolo tambien mas en los sitios baxos y húmedos; en los parages pantanosos, y á lo largo de los rios y de los estanques, que lo que lo son en los sitios secos y elevados.

975. Acontece tambien algunas veces que se unen con las nieblas unas exhalaciones, que se manifiestan por medio de un mal olor, y por una acritud que se siente en la garganta y en los ojos; y se pretende que entónces son capaces estas nieblas de causar algun daño á los frutos y á los granos; atri-

Digitized by Google

buyéndoles tambien la enfermedad del trigo, conocida baxo el nombre de *añublo*. Pero yo estoy mucho mas inclinado á creer que se hallan en el grano mismo que se siembra los gérmenes de estas enfermedades, sea que este germen sea un virus del que está infectado el grano, sea que estas enfermedades provengan de la picadura de un insecto que ha depositado allí sus huevos; por la razon de que el licor alcalino, empleado con felicidad para precaver estas enfermedades, es del número de aquellos que pueden hacer perecer los insectos, ó que pueden sin duda destruir este virus; pues que la simiente preparada con este licor, produce un trigo que no está sujeto á estas enfermedades, aunque se halle expuesto á las mismas nieblas que aquellas, á las quales está expuesto otro trigo diferente sembrado junto á él. Luego no son las nieblas las que causan estas enfermedades del trigo.

976. Las nieblas son mas freqüentes en las estaciones y en los climas frios, que en las estaciones y en los climas calientes, á causa de que entónces las partículas aquosas y los vapores, condensados por el frio del ayre quasi al momento en que salen de la superficie de la tierra ó de las aguas, no pueden elevarse mas que á una altura muy pequeña, ó no pueden disolverse sino imperfectamente; en cuyo caso, si llega á aumentarse el frio, se hiela la niebla, y se adhiere convertida en pedacillos de yelo á las ramas de los árboles, á los vestidos y á los cabellos de los viageros, á las crines de los caballos, y generalmente á todo lo que se halla expuesto á estas nieblas, y forma lo que se llama *escarcha*. Difiere la escarcha del rocío congelado, al qual se parece no obstante mucho, en que no se verifica sino quando la temperatura del ayre está en el punto de la congelacion ó por baxo de él; en lu-

gar de que con freqüencia suele haber rocío congelado, aunque la temperatura del ayre esté un poco mas arriba del punto de la congelacion (973).

977 Quando las nieblas se elevan á bastante altura en la atmósfera, reuniéndose en ella abundantemente, ya sea por alguna condensacion del ayre, ya por la impulsion de los vientos, &c. se forma lo que llamamos nubes; las quales flotan á diferentes alturas del ayre, con el que se hallan en equilibrio. Y como el ayre tiene tanta mas densidad quanto mas cerca se halla de la superficie de la tierra (957), no es de maravillar que estas nubes espesas, que estan próximas á caer convertidas en lluvia, se hallen freqüentemente muy baxas; pues que solo las nubes raras y ligeras son las que pueden sostenerse á una cierta altura.

978 Pues que las nubes estan compuestas de agua reducida en vapor, ó disuelta en el ayre, deben formarse con mayor abundancia que en otra qualquier parte, en los sitios mas capaces de producir la materia de que se componen. Tambien deben formarse mas nubes por cima de los mares y de los grandes lagos, en donde la evaporacion es mucho mas abundante que las que se forman encima de los continentes y de las islas grandes; y esta es la razon de que el viento de oeste que nos viene de encima del océano, y el viento del sur que nos viene de encima del mediterráneo, nos traigan por lo regular muchas nubes.

979 Si las nubes se condensan, sea por la accion de los vientos, sea por la condensacion ó la rarefaccion del ayre que las lleva, sea por el abandono del calórico que las tenia en el estado de vapores, las partículas aquosas de que estan compuestas se reunen en gotas, que adquiriendo por esta causa un peso excesivo para sostenerse en el ayre,

Digitized by Google

forman al caer lo que se llama *Lluvia*. Quando esta condensacion de las nubes se hace precipitadamente, y en una porcion poco elevada de la atmósfera, en donde el ayre, teniendo mayor densidad (957), está mas en estado de sostenerlas, las gotas que se forman toman mas magnitud, son en menor número, permanecen mas apartadas las unas de las otras, y adquieren mucha velocidad al caer, que es lo que se observa quasi siempre en las lluvias de tempestad, las quales proceden por lo regular de nubes poco elevadas. Pero si esta condensacion se hace lentamente, ó estas particulillas aquosas no se reunen, y no caen sino porque el ayre que las sostiene las abandona al dilatarse; entónces son las gotas muy pequeñas, en muy gran número, se hallan muy inmediatas las unas á las otras, y caen lentamente y con una velocidad quasi uniforme; formando entónces una lluvia extremamente menuda, á lo que se da comunmente el nombre de *llovizneo*.

980 El frio de la region de las nubes es algunas veces bastante considerable para helar las partículas aquosas que componen las nubes: si el frio se apodera de ellas ántes que hayan tenido tiempo para reunirse en gotas, los pedacillos de yelo que provienen de esto, reuniéndose muchos juntos, y no tocándose mas que en algunos puntos de sus superficies, no componen mas que unos copos de nieve muy ligeros, que es á lo que llamamos *nieve*.

981 El órden y la disposicion de estos pedacillos de yelo no son siempre entre sí los mismos; pues que varían prodigiosamente, y hacen por esta causa variar la figura de la nieve. Pero lo que hay muy singular es que esta figura, que no es la misma en todos los tiempos, es constantemente igual en un mismo dia, ó por lo ménos en un mismo turbion; esto es, que los copos que caen juntos no difieren mas

Digitized by Google

que en magnitud; pero tienen todos la misma figura, ó por mejor decir, estan compuestos todos de ramificaciones pequeñas, que se semejan: de modo que la nieve del dia puede muy bien tener una figura diferente de la que tenia la nieve de ayer; pero la disposicion de los pedacillos de yelo es constantemente la misma en todos los copos que caen en un mismo turbion; luego los copos que caen á un tiempo son de una misma especie, ya en diferentes dias, ya en diferentes horas del mismo dia. Se podria mirar esto como una especie de cristalizacion, pero seria muy dificil el dar razon de este fenómeno.

982 La nieve cae siempre lentamente, y quasi sin aceleracion, á causa de que con muy poca masa presenta una gran cantidad de superficies al ayre que atraviesa; cuyo fluido la estorba, por su resistencia, el recibir el aumento de velocidad que le hubiera dado sin esto la aceleracion de su caida (214).

983 Esta gran cantidad de superficies hace tambien que sea la nieve muy susceptible de evaporacion: tambien disminuye sensiblemente aun en los dias mas frios.

984 Si el frio que reyna algunas veces en la region de las nubes, da tiempo á las partículas aquosas, que las componen, para reunirse en gotas ántes de que las coagule la helada, el frio que las sorprehende forma de ellas globulillos de yelo, que es á lo que llamamos *granizo*.

985 El granizo deberia ser perfectamente redondo, por la razon de que está compuesto de agua, que habiéndose hallado fluida en un intermedio que la oprimia igualmente por todas partes, ha debido necesariamente tomar una figura esférica; así no tiene duda alguna que esta es la figura que tiene en el momento de su formacion. Sin embargo, lo mas frequiente es que el granizo sea angular quando llega á

Digitized by Google

la tierra; lo qual proviene, ó de que ha comenzado ya á derretirse, ó de que al contrario ha recibido un grado de frio suficiente para helar las particulillas de agua que ha tocado en su caida, y que caen ménos apriesa que él (208).

986 El granizo no deberia nunca ser mas grueso que las gotas de agua de lluvia: así, si se le ve caer algunas veces de una magnitud que iguala á una nuez ó á un huevo, consiste esto en que, como acabamos de decir (985), se ha hallado con un frio suficiente para helar las partículas de agua que ha tocado en su caida, por lo qual se las ha apropiado; ó en que muchos granos se han reunido al caer, y como introducido los unos en los otros. Para convencerse de esto, basta exâminar estos gruesos granos de granizo; y se hallará que quasi siempre son angulares y jamas de una densidad uniforme desde la superficie hasta el centro; lo que prueba claramente que estan formados de muchas piezas. Tambien se ha observado que el granizo que cae en lo alto de las montañas, es mas pequeño, todo lo demas igual, que el que cae en los valles: luego aumenta su magnitud cada vez mas en tanto que cae.

987 El granizo adquiere por lo regular, al caer, una velocidad considerable, á causa de que en virtud de su figura esférica, ó quasi esférica, sufre de la parte del ayre que atraviesa la menor resistencia posible relativamente á su masa, pues que los cuerpos esféricos son, entre todos los cuerpos, los que con una cantidad dada de materia tienen ménos superficie; y esta resistencia es tanto menor quanto mas gruesos son los granos. Tambien el granizo, y sobre todo, el grueso, causa con freqüencia mucho daño; destrozando los trigos, las viñas y los vástagos ó renuevos de los árboles; magullando los frutos, y haciéndoles caer; quitando la vida á los ani-

Digitized by Google

males en el campo, &c.; viéndose con freqüencia términos enteramente desolados por él.

988 Segun lo que acabamos de decir de los meteoros aquosos (969 *y siguientes*), es fácil de ver que todos ellos nacen de unas mismas causas. Las partículas de agua son las que, pasando de la tierra y de las aguas al ayre, forman el sereno: el rocío es el mismo sereno que ha caido á la tierra: el rocío congelado es el rocío que se ha helado: la niebla no es otra cosa que un sereno mas abundante: la escarcha es la niebla que se hiela, adheriéndose á los cuerpos que encuentra: las nubes son unas nieblas elevadas á cierta altura: las lluvias son unas nubes, cuyas partículas aquosas se han reunido muchas juntas para formar gotas: la nieve es una nube, cuyas partículas se han helado ántes de reunirse en gotas; y en fin, el granizo no es otra cosa mas que las gotas de lluvia heladas.

La atmósfera considerada como un fluido agitado.

989 Se observa dos especies de movimiento en el ayre de la atmósfera: uno que no es mas que un movimiento de temblor ó de vibracion, comunicado á las partes de este fluido, y que las agita durante algun tiempo sin desalojarlas; cuyo movimiento es el que nos conduce el sonido: el otro es un verdadero movimiento de translacion, por el qual una porcion bastante considerable de la atmósfera es impelida de un sitio á otro, con una velocidad mas ó ménos grande, y en una direccion determinada; cuyo movimiento es el que produce los vientos.

Del Sonido.

990 Procede el sonido de un movimiento de vi-

Digitized by Google

bracion, impreso á un cuerpo sonoro por el choque de otro cuerpo, comunicado por este cuerpo sonoro al fluido que le rodea, y transmitido por este fluido hasta la oreja, que es el órgano destinado para recibir la impresion de él.

991 Se sigue de esta definicion, que debemos considerar el sonido baxo tres aspectos diferentes: 1.° en el cuerpo sonoro que le hace nacer: 2.° en el intermedio que le transmite; y 3.° en el órgano que recibe la impresion de él.

992 Se llama *cuerpos sonoros* propiamente dichos, á aquellos cuyos sonidos son distintos, comparables entre sí, y de alguna duracion; tales son los de una campana, de una cuerda de qualquier instrumento, &c., y no aquellos que no producen mas que un ruido confuso, tal como el que hace una piedra quando cae ó se la tira sobre un empedrado. Para que los cuerpos sean sonoros, es preciso necesariamente que sean elásticos, como vamos á probarlo; y su sonido es proporcional á sus vibraciones, en quanto á la duracion, y en quanto á la intensidad ó la fuerza.

993 Supongamos pues que se toca, por exemplo, una campana: en el instante en que se la hiera se moverán sus particulillas, en virtud de su fuerza elástica, con mucha velocidad, y con una especie de temblor y de ondulacion, que es fácil observar y percibir, poniendo ligeramente el dedo encima. Para entender bien esto es preciso concebir que una campana está compuesta de una serie de zonas circulares, cuyos diámetros van decreciendo hasta lo alto; y que cada una de estas zonas puede considerarse como un anillo plano, compuesto de otros tantos círculos concéntricos como pueda haber en su grueso. Si se hiere este anillo en el punto *a* (*fig.* 128), se dirige esta parte chocada hácia *g*, y al mismo tiempo las partes *b* y *d* se dirigen hácia *i* y hácia *m*,

Digitized by Google

lo que obliga al punto *c* á dirigirse hácia *e*. Pero en el instante despues, tendiendo estas partes, por su elasticidad (31), á restablecerse en su primer estado, vuelven al sitio de adonde saliéron; y como vuelven con aceleracion (34) van mas léjos que el sitio de su reposo; de modo que la parte *a*, despues de haber vuelto de *g* á *a*, va hácia *f*; la parte *c* hácia *b*; y las partes *b* y *d* hácia *k* y hácia *l*. De aquí se sigue que la campana, de circular que era primero, se vuelve oval, alternativamente en dos direcciones diferentes: luego es preciso que las partes exteriores se separen las unas de las otras, en los sitios de las mayores curvaturas.

994 Lo mismo sucede con una cuerda *a b* (*fig.*129) de salterio, de harpa, &c. que se toque; á causa de que para hacerse angular, como *a c b* ó *a d b*, es preciso necesariamente que se dilate ó prolongue, y por conseqüencia que se desvien sus partes.

995 Hay pues dos especies de vibraciones; á saber, las vibraciones totales que mudan la figura del cuerpo, y las vibraciones particulares, ó las de las partes insensibles.

996 El sonido no se debe á las vibraciones totales, sino á las de las partes insensibles, como lo probó *de la Hire* (*Mem. de la Acad. año de* 1716, *pág.* 264). Luego siempre que se pueda separar estas dos especies de vibraciones, no se tendrá sonido alguno con las totales; pero quando las vibraciones totales estan acompañadas de las de las partes insensibles, arreglan la duracion, la fuerza y las modificaciones del sonido.

997 Si se hace cesar las vibraciones, tocando el cuerpo sonoro, cesa tambien inmediatamente el sonido, por no poder verificarse sin estas vibraciones (990). Esta es la causa de que los reloxeros coloquen debaxo del martillo, destinado á herir la cam-

Digitized by Google

pana del relox, un resorte que le hace levantar en el instante que la ha herido, impidiéndole el que continúe tocando la campana.

998 El movimiento de los cuerpos que se hallan á alguna distancia de nosotros, no puede herir nuestros sentidos sin la mediacion de otros cuerpos que reciban este movimiento, y le comuniquen inmediatamente al órgano. Luego se pasarian las vibraciones del cuerpo sonoro sin que nosotros las apercibiésemos, si no hubiese entre él y nosotros un intermedio capaz de transmitirlas. Los fluidos elásticos son los intermedios mas propios para este efecto: luego las vibraciones del cuerpo sonoro se comunican al ayre que le rodea, produciendo un movimiento semejante en este fluido, ó por mejor decir, en otras tantas de sus partes, quantas él tiene capaces de recibirle y perpetuarle.

999 El ayre es en efecto el intermedio por donde se transmite el sonido con mayor freqüencia; y el sonido es conducido ú oido de tanto mas léjos quanto mayor densidad tiene el fluido por donde se propaga: luego el sonido llega á mayor distancia por un ayre condensado, que por un ayre regular. Esto debe ser así, por la razon de que debe haber un sonido mas fuerte, en donde se halle un resorte mas activo; lo qual se verifica en un ayre condensado (909). Pero si el ayre estuviera considerablemente dilatado, no se oiria el sonido mas que á una muy corta distancia, y tanto mas corta quanto mas grande fuese el grado á que hubiese llegado su dilatacion, á causa de que no habia entónces la densidad necesaria. Esta es la razon de que la luz, que es un fluido muy raro, no sea capaz de transmitir los sonidos, sin embargo de tener una elasticidad perfecta.

1000 Pero ¿quáles son las proporciones que sigue el aumento de la fuerza del sonido en un ayre con-

Digitized by Google

densado? *Kauksbee*, que trabajó en esta indagacion (*Trans. phil.* n. 321), encontró que en un ayre una vez mas denso, se extiende el sonido una vez mas léjos. De adonde concluyó con razon, que el sonido aumenta, no solamente en razon directa de la densidad del ayre, sino en razon del quadrado de esta densidad. Porque supongamos que el cuerpo sonoro *a* (*fig.* 130), que debe ser mirado como el centro de una esfera de actividad que anima rayos sonoros en todas las direcciones, ya que se oye desde todas partes este cuerpo sonoro: supongamos, digo, que este cuerpo se halle en un ayre cuya densidad sea 1; que la oreja se halle colocada á la distancia 1, y que su abertura sea igual á *d e*: recibirá pues esta oreja todos los rayos sonoros que forman el cono *a d e*, y que suponemos necesarios para que se oiga el sonido á la distancia 1. Supongamos ahora que se dobla la densidad del ayre, y que se coloca la oreja á la distancia 2: prueba la experiencia que se oirá allí el sonido del mismo modo que se oía en el primer caso á la distancia 1. Pero está demostrado que á la distancia 2 no recibe la oreja mas que la quarta parte de los rayos que recibia á la distancia 1, pues que el area de la base del cono *a b c* es quadrupla del area de la base del cono *a d e*, y que la abertura *b f* de la oreja es igual á *d e*: luego es preciso que el sonido sea quatro veces tan fuerte á la segunda distancia como á la primera. Se probará del mismo modo, que para oir el sonido á la tercera distancia, es preciso que sea 9 veces tan fuerte, 16 veces á la quarta distancia, 25 veces á la quinta, &c. Luego *el sonido aumenta como el quadrado de la densidad del ayre.*

1001 Si el sonido se verificase en un fluido elástico mas denso que el ayre, llegaria tambien á mayor distancia: esto lo he probado yo, metiendo un

Digitized by Google

cuerpo sonoro en el gas ácido carbónico (733), cuya densidad excede á la del ayre en cerca de un tercio (757); y el sonido se halló ser siempre allí mucho mas fuerte, en un mismo tiempo y en un mismo sitio.

1002 Si el resorte del ayre se volviera mas activo, sin que variase su densidad, como puede suceder por diferentes causas, se aumentaria la fuerza del sonido en razon de este aumento de actividad del resorte: así, para expresar de un modo mas general este aumento de la intensidad del sonido es preciso decir, que *la intensidad del sonido es como el producto de la densidad del ayre multiplicada por su resorte.*

1003 No son los fluidos elásticos los únicos intermedios que pueden transmitir el sonido; pues que se propaga tambien por el agua y por los demas licores, como se ha probado, y como se puede experimentar, sumergiendo enmedio del agua un cuerpo sonoro, de modo que no toque á cuerpo alguno duro, y que le rodee este licor por todas partes. Es preciso confesar que en este caso parece el sonido ménos fuerte, y se oye á ménos distancia; lo qual proviene de que el intermedio que transmite el sonido debe ser elástico, y los licores lo son muy poco (33); y la disminucion del sonido se hace quasi toda enteramente en el paso del ayre al licor, como lo probó el Abate *Nollet*, que hizo á este intento muchos experimentos curiosos (*Mem. de la Academia año de* 1743, *pág.* 199).

1004 Puede tambien transmitirse el sonido por cuerpos sólidos, con tal que tengan el grado de resorte necesario.

1005 El sonido emplea un tiempo muy sensible en propagarse, y en transmitirse del sitio en donde tiene orígen al sitio adonde se oye; porque si se

Digitized by Google

ve desde léjos tirar un escopetazo, no se oye el ruido sino algun tiempo despues de haber percibido la luz. Esto proviene de que la luz ó su accion se propaga mucho mas apriesa que el sonido; á causa de que no empleando mas que cerca de ocho minutos en venir desde el sol hasta nosotros (1178), es preciso que corra cerca de 72420 leguas en cada segundo de tiempo; de cuya diferencia pues se han servido para medir la velocidad con que se propaga el sonido.

1006 La distancia de los sitios que podemos percibir en la superficie de la tierra es tan pequeña, que no necesita la luz para correrla mas que una pequeñísima fraccion de segundo; luego podemos, sin temor de error sensible, despreciar esta fraccion tan pequeña, y hacer cuenta que vemos la luz en el mismo momento en que aparece. Así, si se hace tirar un cañonazo en un sitio que se pueda ver, se tendrá el tiempo que este sonido habrá empleado en correr este espacio, contando el tiempo que se pasa desde que se vió la luz hasta que se oyó el sonido. Este proceder es el que se ha observado para medir la velocidad del sonido; cuyo experimento se ha hecho por muchos físicos, y sobre todo ha sido repetido muchas veces, y con mucho cuidado y exâctitud, por *Thury*, *Maraldi* y *la Caille*, sobre una línea de 14636 toesas, que tenia por términos la torre de *Mont-Lhéri* y la pirámide de *Montmartre*, hallándose colocado el observatorio entre estos dos puntos (Véase *las Memorias de la Academia año de* 1738, *pág.* 128 *y siguientes*). Los resultados de estos experimentos son:

1007 1.° Que la velocidad del sonido, en tiempo de calma, es de 173 toesas por segundo; y que es sobre corta diferencia de la misma cantidad, quando el viento corre en una direccion perpendicular á

Digitized by Google

la direccion desde el sitio en donde se produce el sonido á aquel en donde se le oye.

1008 2.° Que el sonido, fuerte ó pequeño, se transmite con la misma velocidad, pues que se oyó en *Mont-Lhéri* el ruido de un morterete disparado en *Montmartre*, y cargado con solo una media libra de pólvora, en el mismo tiempo, contado desde el momento en que se vió la luz, que se tardó en oir el ruido de los cañonazos que se tiráron allí mismo sucesivamente, y cuya carga era de cerca de seis libras de pólvora.

1009 3.° Que la velocidad del sonido es la misma, sea que el tiempo esté sereno, sea que esté lluvioso.

1010 4.° Que la velocidad del sonido es tambien la misma, ya sea durante el dia, ya durante la noche.

1011 5.° Que la velocidad del sonido es igual, así en los grandes intervalos como en los pequeños; es decir, que no se debilita hácia el fin, como lo hacen la mayor parte de los demas movimientos, y que por conseqüencia es uniforme.

1012 6.° Que la velocidad del sonido es de la misma cantidad, sea que se dirija el cañon hácia el sitio en donde se le oye, sea que se le dirija en direccion contraria; pues que habiendo dirigido el cañon de *Montmartre* hácia el norte, se le oyó, tanto desde el Observatorio como desde *Mont-Lhéri*, en el mismo intervalo de tiempo, despues de visto el fogonazo, que quando se le dirigió hácia el mediodia. Lo mismo sucede en las diferentes inclinaciones, pues que el ruido de los morteretes, cuya direccion es perpendicular al horizonte, se transmitió en el mismo intervalo de tiempo que el de los cañonazos.

1013 7.° Que la diferente direccion del viento

Digitized by Google

contribuye á acelerar ó á retardar la velocidad del sonido una cantidad que se ha creido ser sobre corta diferencia la misma que la del viento que corria al tiempo de hacer el experimento. De adonde resulta que la velocidad del sonido es de 173 toesas, mas ó ménos la del viento, segun que corra en direccion favorable ó contraria. Se podrá por este medio, pues que se conoce la velocidad del sonido, calcular en todos tiempos la del viento, y recíprocamente.

1014 8.° Que la diferente disposicion del terreno, por el qual se transmite el sonido, no contribuye á aumentar ni á disminuir sensiblemente su velocidad. De adonde se sigue que se comunica en línea recta, sin seguir las vueltas y rodeos.

1015 9.° En fin, que la diferente pesantéz ó presion del ayre no produce diferencia alguna sensible en la velocidad del sonido, pues que estando el barómetro el 21 de Marzo á 27 pulgadas y 2 $\frac{1}{2}$ líneas, durante un tiempo calmoso, el intervalo entre el fogonazo y ruido del cañon disparado en *Mont-Lhéri*, se halló ser en el Observatorio de la misma cantidad que el 16 del mismo mes, dia en que el barómetro estaba á 27 pulgadas y 11 líneas, y en que corria un viento transversal, que, como hemos observado (1007), no varía nada en la velocidad del sonido.

1016 El conocimiento de la velocidad del sonido no es un conocimiento esteril y de pura curiosidad; pues que se puede sacar de él diferentes ventajas: Conocida una vez esta velocidad, se la puede mirar como una medida temporal del intervalo entre sitios lejanos; cuya distancia se tendrá observando el tiempo que pasa desde el momento en que se ve la luz hasta en el que se oye el ruido; lo qual, si no da una medida exácta, la da á lo mé-

Digitized by Google

nos con corta diferencia. Puede ser útil este conocimiento para determinar la anchura de un gran rio cerca de su embocadura, de un lago, de un pantano, y aun la distancia de las islas entre sí y de la tierra firme: se puede tambien, en tiempos en que se halle cargada la atmósfera, tirando algunos cañonazos desde la ribera, preservar del naufragio á algunas embarcaciones que viendo la luz, y el ruido del cañonazo, podrán reconocer la distancia á que se hallan del sitio de que quieran huir, ó al que quieran abordar.

1017 Quando el sonido encuentra algunos obstáculos, varía de direccion, y se reflexa; formando su ángulo de reflexion perfectamente igual al de su incidencia, por la razon de que el ayre que le sirve de vehículo, tiene un resorte perfecto (907); y esto es lo que forma los ecos. Para que oiga el eco el que habla, es preciso pues que se presente el obstáculo perpendicularmente á la direccion de la voz. Supongamos un hombre colocado en *a* (*fig.* 131), y que habla enfrente de un cuerpo elevado, por exemplo, una roca situada á alguna distancia de allí: si la parte *d* de la roca se presenta perpendicularmente á la voz, y esta parte es como debe ser para formar un eco, se reflexará el sonido hácia el que habla, y le hará oir el eco: si en *c*, *b*, &c. hay otras partes semejantemente dispuestas, y mas distantes las unas que las otras de la persona que habla, repetirá el eco muchas veces de seguida las mismas palabras; pero si todas estas partes estuvieran dispuestas de modo que reflexasen el sonido hácia *e*, el que habla en *a* no oiria el eco, en tanto que otro qualquiera colocado en *e* le oiria muy bien.

1018 Los ecos no se encuentran en campo raso; sino que es necesario que haya objetos elevados

Digitized by Google

sobre el terreno : tampoco se oyen en plena mar, ni en las llanuras en donde no haya casas ni árboles ; pero se encuentran freqüentemente en los bosques, en los valles, enfrente de las rocas, de las montañas, &c.

1019 Hemos considerado el sonido en el cuerpo sonoro que le hace nacer, y en el intermedio que le transmite ; ahora nos resta considerarle en el órgano que recibe su impresion ; cuyo órgano es la oreja. La dividen los anatómicos por lo regular en externa é interna : la oreja externa está compuesta de lo que vulgarmente se llama *oreja*, que es una especie de embudo, cuyo tubo ó cañon, llamado *conducto auditivo*, está terminado por una membrana delgada, á quien se da el nombre de *membrana del tambor ó tímpano* ; y es la que separa la oreja externa de la interna. La oreja interna comprehende la caxa del tambor y el laberinto : la caxa del tambor es una cavidad colocada detras del tímpano, que contiene quatro huesecillos ; á saber, el martillo, el ayunque, el estribo y el orbicular. El mango del martillo está unido al centro del tímpano ; y su cabeza al cuerpo del ayunque, la qual tiene dos brazos ; á uno de los quales, que es el mas largo, está fixa la cabeza del estribo, y el orbicular está entre los dos : la base del estribo, que es oval, cierra una abertura de la misma figura, que comunica con el laberinto, el qual está compuesto del vestíbulo, de los tres canales semicirculares, y del caracol. El caracol, que es la principal parte de la oreja, está compuesto de una especie de caracol (*fig.* 132) en forma de cono un poco aplastado, rodeado de un conducto oseoso (*fig.* 133), que forma dos vueltas y media de espiral : la cavidad de este conducto va siempre disminuyendo, á proporcion que se acerca al vértice del cono, y se ha-

Digitized by Google

lla dividida en dos mitades *a*, *b*, llamadas *escalas*, distinguidas en externa é interna por un secto (*fig.* 134) llamado *lámina espiral*, de la que una porcion 1, 2, 3, es oseosa, y la otra 4, 5, 6, membranosa. (Véase mi *Diccionario de Física*, á la palabra oreja; y allí se encontrará la descripcion detallada de sus diferentes partes, y de sus usos).

1020 El oido es una sensacion excitada en nosotros por los sonidos recibidos en la oreja; cuyos sonidos consisten en un movimiento de vibracion impreso á un cuerpo sonoro por el choque de otro cuerpo, y comunicado por este cuerpo sonoro al ayre que le rodea (990). La figura de la oreja exterior en forma de embudo (1019) proporciona la entrada á una gran cantidad de partículas de ayre, puestas en movimiento vibratorio por los cuerpos sonoros; cuyo movimiento se comunica por el conducto auditivo hasta el tímpano: llegados allí los sonidos, ponen en movimiento á esta membrana, y la accion de los músculos del martillo, cuyo mango está unido hácia el centro de esta membrana, tiende á tenerla mas ó ménos estirada; por cuyo medio se acomoda á lo mas ó ménos violento de los sonidos, manteniéndose tirante con los sonidos débiles, y floxa con los sonidos demasiado fuertes.

1021 Hallándose movidos por las vibraciones del ayre que llegan hasta el tímpano, los huesecillos contenidos en la caxa del tambor (1019), comunican sus movimientos al ayre encerrado en esta caxa, así como al que ocupa todas las cavidades del laberinto; y este ayre, comunicando sus vibraciones á todas las ramificaciones nerviosas, y sobre todo á la de la lámina espiral (*fig.* 134), excita la sensacion de oir.

1022 Los cuerpos sonoros son capaces de excitar en nosotros diferentes sensaciones, sea porque

Digitized by Google

son mas ó ménos grandes, mas ó ménos densos, mas ó ménos elásticos, ó porque su resorte está mas ó ménos tirante: el sonido de una campana y el de una campanilla difieren, no solamente en quanto á la fuerza, sino tambien en quanto á su naturaleza: á mas, una misma cuerda varía de tono si está mas ó ménos tirante; y esta diferencia proviene de una rigidez mas ó ménos grande, de adonde resulta una repercusion mas ó ménos pronta, y en conseqüencia unos tonos mas ó ménos graves, mas ó ménos agudos. Estas diferentes partes de la oreja, y sobre todo las de la *lámina espiral*, que se puede mirar como el clavicordio de la oreja, son susceptibles de estas diferentes mixturas de celeridad de vibraciones; porque la lámina espiral, que separa las dos escalas del caracol, y que vuelve en espiral al rededor de él, es mas ancha en su parte inferior 4, y va siempre disminuyendo de anchura hasta lo alto 6: de adonde se sigue que las fibras transversales que componen su porcion membranosa 4, 5, 6, son siempre como las cuerdas de un clavicordio, que se van acortando cada vez mas. Esta diferencia de dimensiones da lugar á creer que estas diferentes fibras nerviosas tienen mas relacion y proporciones con ciertos tonos que con otros. Estas fibras nerviosas estan pues siempre prontas á recibir, en algunas de sus partes, las vibraciones de qualquier tono que sea; esto es, que los tonos mas graves no mueven mas que las fibras mas largas que estan en su unísono, en tanto que los mas agudos no mueven mas que las fibras mas cortas.

1023 Y como todas estas ramificaciones y fibras nerviosas tienen mas ó ménos longitud las unas que las otras, segun que se hallan destinadas á excitar en nosotros la sensacion de diferentes tonos, se concibe fácilmente por que el laberinto y sus par-

Digitized by Google

tes son tan grandes en un niño como en un adulto; porque si sus dimensiones fueran diferentes en estas dos edades, unos mismos tonos hubieran obrado sobre nosotros de un modo en nuestra infancia, y de otro quando llegásemos á una edad mas avanzada; y un niño á quien se hubiese enseñado la música en la edad de ocho años, nada sabria de ella á la de diez y ocho ó veinte.

1024 Segun lo que acabamos de decir, es fácil de conocer la razon de los principios sobre los quales está fundada la construccion de los instrumentos de música; en los quales debe haber, lo mismo que en la oreja, partes susceptibles de recibir y de transmitir las vibraciones de todos los diferentes tonos. Se sabe que un cuerpo sonoro, por exemplo, una cuerda hace unas vibraciones tanto mas freqüentes, y da un tono tanto mas agudo, quanto es mas corta ó ménos gruesa, ó quanto mas tirante está; porque los tonos dependen de un cierto número de vibraciones en un tiempo determinado. Tambien se sabe que en todos los instrumentos de música está dispuesta la parte sonora de modo que se puede variar sus dimensiones ó su grado de tension: en una gayta se acortan las primas con las teclas, y dan por este medio tonos mas agudos: en el violin, contrabaxo, &c. hacen los dedos el oficio de teclas: en el clavicordio, harpa, &c. se puede tocar todo quanto se quiera en virtud del gran número de cuerdas, y de sus diferentes longitudes y gruesos: en los instrumentos de viento se varía la longitud de la columna de ayre, que es la parte sonora, tapando ó destapando los agujeros. Por estos medios se puede dar todos los diferentes tonos con estos instrumentos.

1025 Como hay en la lámina espiral fibras de longitudes diferentes, y cuyo resorte de cada una

Digitized by Google

es análogo á la freqüencia de las vibraciones de tal ó tal tono (1022), dos ó muchos tonos diferentes que lleguen á la oreja á un mismo tiempo, se oyen con tanta distincion como si llegasen á ella separadamente; á causa de que cada tono no obra con eficacia mas que sobre la fibra cuyo resorte es análogo al suyo. Debemos juzgar que del mismo modo hay en el ayre moléculas que difieren en magnitud y en grado de resorte, y que dos ó muchos tonos diferentes son transmitidos cada uno por las partículas de ayre cuyo resorte es análogo á la freqüencia de sus vibraciones; de modo que todos estos diferentes tonos son llevados á un tiempo á la oreja por la misma masa de ayre, pero cada uno por diferentes partes de esta masa. De este modo es como muchos tonos diferentes dados cerca de un clavicordio, hacen sonar cada uno la cuerda que está en unísono con él.

1026 Aunque el órgano del oido sea doble, no se sigue de esto que debamos oir dos veces un tono simple y único: las dos impresiones que hace este mismo tono en las dos orejas, son recibidas sobre unas fibras correspondientes, y semejantes á los dos nervios auditivos, y transmitidas ámbas á dos á un mismo tiempo al sitio del alma; por conseqüencia, estas dos impresiones deben ser miradas como una sola, y efectivamente no producen mas que una sola sensacion; lo qual está fundado en la misma razon que hay para que un objeto simple no nos parezca doble, aunque se pinte su imágen á un mismo tiempo en cada uno de nuestros ojos (1527).

1027 Un ruido demasiado grande cansa á la oreja, y llega algunas veces hasta dexar sordas por algun tiempo, y aun para siempre, á las personas que han estado expuestas á él; lo qual consiste en que una impresion demasiado fuerte, así sobre este

Digitized by Google

órgano como sobre los demas, entorpece las partes que son delicadas, ó desordena la economía de ellas. Despues de un ruido grande son á la oreja los sonidos débiles lo que es al ojo una luz pequeña despues de una grande iluminacion. Ha sucedido varias veces que algunas personas se han vuelto enteramente sordas, por haber permanecido expuestas por largo tiempo al ruido de una batería de cañones.

De los Vientos.

2028 El viento es un movimiento de translacion del ayre, en virtud del qual movimiento una cierta porcion de la atmósfera es impelida de un sitio á otro, con una velocidad mas ó ménos grande, y en una direccion determinada; de cuya direccion es, como se sabe, de adonde derivan los nombres que se da á los vientos; por tomarlos diferentes, relativamente á los diversos puntos del horizonte de adonde soplan.

2029 Los vientos se dividen en generales ó constantes, en periódicos ó arreglados, y en variables.

2030 Los vientos generales ó constantes son aquellos que soplan siempre por una misma parte: tales son los vientos que se observa entre los dos trópicos, y que soplan constantemente del este al beste (2068), con solo algunas cortas variaciones periódicas, segun las diferentes declinaciones del sol. Sin embargo es preciso confesar que estos vientos no son tan generales como se pretende, y que no deben ser mirados como tales mas que en plena mar; porque 1.º en tierra no se les distingue quasi, á causa de que son interrumpidos y divididos por las montañas, y otros obstáculos que se oponen á su paso; 2.º en la mar, cerca de las costas, los in-

terrumpen tambien, y los apartan de su camino los vientos particulares que vienen de tierra.

1031 Los vientos periódicos ó arreglados son aquellos que soplan periódicamente de un punto del horizonte en un cierto tiempo; y de otro punto en otro tiempo; tales son los vientos *monzones*, como aquellos que soplan del sudueste desde el mes de Septiembre hasta el mes de Mayo, y del nordeste desde el mes de Mayo hasta el mes de Septiembre, entre la costa de *Zanguebar* y la isla de *Madagascar*.

1032 Los vientos variables son aquellos que soplan tan pronto de un lado, tan pronto de otro, que comienzan ó cesan sin regla alguna, ya sea con respecto á los sitios, ya con respecto á los tiempos; y que por consequencia son variables, sea por la direccion, por la duracion ó por la velocidad: tales son los que se observan en Paris.

1033 Los vientos son causados en general por un defecto de equilibrio en el ayre, esto es, porque hallándose ciertas partes con mas fuerza que las partes inmediatas, se extienden hácia el lado en donde encuentran ménos resistencia. ¿Pero quál es la causa que produce este defecto de equilibrio? Esto es lo que no se sabe sino muy imperfectamente. Las explicaciones que los físicos han dado de estos fenómenos, son tan vagas y tan poco satisfactorias, que refiriéndolas dariamos muy poca claridad á esta materia. Me parece que seria mejor el señalar por causa primera y general de los vientos á la electricidad, pues que se sabe que reyna continuamente en la atmósfera y en la superficie de nuestro globo. Los truenos y las bombas marinas, que en el dia se reconocen como fenómenos eléctricos, estan siempre, ó quasi siempre, acompañados de vientos muy grandes. ¿Por qué la causa que

Digitized by Google

produce estos fenómenos no será la de los vientos que los acompañan? Y si la electricidad es la causa de estos vientos, ¿por qué no lo será de los demas vientos? Este punto merece ser exáminado con cuidado.

1034 En el viento se puede considerar su direccion, su velocidad, y su fuerza. Su direccion está determinada, como lo hemos dicho arriba (1028), por el punto del horizonte de adonde sopla; y esta direccion la indican las veletas; pero para esto se necesita estar vuelto hácia el oriente. Por otra parte, las veletas no pueden indicar mas que la direccion del viento que está á su altura; y los hay frequentemente superiores, que son opuestos al que señalan las veletas, ó que por lo ménos soplan en direcciones diferentes.

1035 Se ha pretendido medir la velocidad de los vientos, presentándoles cuerpos ligeros para que se los lleven; pero los experimentos que se han hecho sobre este asunto, concuerdan muy poco entre sí. *Mariotte* pretende que la velocidad del viento mas impetuoso es de 32 pies por segundo. *Derham* la determina de 66 pies de Inglaterra. *De la Condamine* ha hallado ser esta velocidad de 85 pies. Es probable que ni los unos ni los otros han tenido regla segura para juzgar qual es el viento mas impetuoso. Nosotros hemos dado arriba (1013) un medio mas seguro para medir la velocidad del viento.

1036 La fuerza del viento depende de su velocidad, y de la masa de ayre que hace obrar contra el obstáculo que se le opone; luego el mismo viento hace tanto mayor esfuerzo, quanto mayor superficie le presenta el obstáculo. Esta es la causa de que se cubra mas ó ménos las alas de un molino de viento, segun el grado de velocidad ac-

Digitized by Google

tual de él; y de que se despleguen mas ó ménos las velas de un navío. Durante el invierno no derriba el ayre tantos árboles como en el verano; por el motivo de que durante esta última estacion estan llenos de hojas, y por decontado presentan mayor superficie al viento.

1037. El hombre saca muy grandes ventajas de los vientos, haciéndoles producir efectos, para los quales seria preciso emplear la fuerza de un gran número de hombres ó de animales. Los vientos son los que hacen andar los molinos para moler trigo; los en que se exprimen los frutos y las simientes para extraer de ellas los aceytes; los batanes, &c. Los vientos son el alma de la navegacion: por su medio se transporta de un lado del océano al otro embarcaciones enormes, que no se podrian hacer caminar sino muy lentamente, muy dificilmente, y con mucho gasto, á fuerza de remos.

CAPÍTULO XII.

DE LAS PROPIEDADES DEL AGUA.

1038 La naturaleza del agua se halla bien conocida el dia de hoy: hemos probado arriba (815 *y siguientes*) que está compuesta de diez y siete partes ponderales de la base del ayre puro, llamada *oxígeno*; y de tres partes de la base del gas hidrógeno ó inflamable, á la que por esta razon se le ha llamado *hidrógeno*, es decir, *generador del agua*. Veamos ahora quales son sus propiedades; mediante á que nos es tanto mas interesante el conocerlas, quanto este fluido nos es quasi tan necesario como el ayre; pues aunque no necesitamos del agua en todos los instantes, como sucede con el ayre, nos seria imposible el subsistir largo tiempo si careciésemos de ella. El agua ó sus partes constituyentes entran en un gran número de producciones de la naturaleza: sin ella no habria vegetacion ninguna: ella es la bebida de los hombres y de los animales, y quasi esencial á las comodidades de la vida.

1039 El agua se nos presenta en tres estados diferentes, baxo los quales necesitamos considerarla: 1.° como líquido: 2.° como vapor; y 3.° como yelo; cuyos tres modos de ser, que no varian nada en su esencia, la hacen propia para producir efectos diferentes.

El agua considerada en el estado de líquido.

1040 El agua en el estado de líquido es un fluido insípido, visible, transparente, sin color, sin olor, quasi totalmente incompresible, muy poco elás-

Digitized by Google

tica, que se adhiere á la superficie de la mayor parte de los cuerpos, que disuelve un gran número de ellos, que penetra un número mas grande aun, y que es capaz de apagar las materias inflamadas que se sumerge en ella, ó sobre las quales se echa en muy grande cantidad. Esta definicion no conviene en su totalidad mas que al agua perfectamente pura: así, si está opaca, si tiene color, olor ó algun gusto, es á causa de que se halla de cierto mezclada con alguna materia extraña.

1041 La liquidez del agua proviene de que está combinada con una cantidad de la materia del calor bastante grande para mantener entre sus partes esta movilidad respectiva, que las permite rodar las unas sobre las otras, y obedecer á su peso, de modo que las de la superficie superior se colocan todas en un mismo plano horizontal (292). Inmediatamente que falta esta combinacion, se acercan las partes, se tocan de mas cerca, y por este contacto (37, 5.°), se adhieren unas á otras hasta el punto de formar un cuerpo sólido, como lo diremos mas adelante (1067). Todas las demas sustancias susceptibles de tomar el estado de liquidez, lo hacen en virtud de la misma causa.

1042 De dos modos nos provee de agua la naturaleza, enviándonosla, 1.° de la atmósfera, por medio de las lluvias, nieve, granizo, &c. (969 *y siguientes*); 2.° del seno de la tierra, por medio de los manantiales y las fuentes, que forman en seguida los riachuelos y rios grandes; los quales transportan todas sus aguas al mar. Las aguas de las lluvias, &c. son producidas originariamente por todas aquellas que se evaporan y que se elevan de las tierras, de los lagos y de los mares; las quales, al caer, contribuyen al mantenimiento de los manantiales y de las fuentes. La prueba de que se man-

Digitized by Google

tienen los manantiales con las aguas que caen de la atmósfera, está en que un gran número de ellos se agotan regularmente, ó por lo ménos disminuyen considerablemente despues de una larga sequedad, y en que comienzan á correr con abundancia, despues de nuevas lluvias, ó despues de deshacerse las nieves. Se explica fácilmente con esto la causa de que sea dulce el agua de los manantiales; de que los manantiales inmediatos al mar sean tambien dulces como los mas retirados; y en fin, porque los manantiales se hallan mas comunmente al medio de la falda, ó al pie de las montañas, que en las llanuras.

1043 No debe maravillar el que este ligero vapor que se eleva de nuestro globo á la atmósfera, produzca una cantidad tan grande de agua, como la que es necesaria para el mantenimiento de todos los rios que corren sobre la tierra, si se considera la extension de la superficie que contribuye quasi contínuamente á la evaporacion. *Halley* valuó la cantidad de agua que se eleva del mar (*Transact. philosoph.* n. 189); y halló por medio de observaciones bastante ciertas, que el agua salada al mismo grado que lo está freqüentemente el agua del mar, es decir, aquella que ha disuelto una cantidad de sal igual á la 32.ª parte de su peso, y expuesta á un grado de calor igual al que reyna en los veranos mas calorosos, pierde por la evaporacion la 60.ª parte del grueso de una pulgada de agua en dos horas; luego segun esto pierde el mar en doce horas el grueso de una 10.ª parte de pulgada de agua; luego una superficie de 10 pulgadas quadradas produce una pulgada cúbica de agua en doce horas; y por consequiencia una toesa quadrada produce 518 pulgadas cúbicas, y una legua quadrada, de 25 al grado, cerca de 1574006 pies cúbicos.

Digitized by Google

1044 Veamos ahora quantas leguas quadradas hay, que puedan contribuir á esta evaporacion. Para tener una idea de la masa inmensa del producto de la evaporacion que se verifica sobre todo el mar, supondremos cubierta por este la mitad del globo, y la otra mitad ocupada por los continentes é islas; bien entendido, que en esta suposicion de considerar la mitad del globo como cubierta por el mar, pecamos mas bien por defecto que por exceso. La superficie de la tierra es de cerca de 25797278 leguas quadradas; luego la superficie del mar sería, segun la suposicion que hacemos, de 12898639 leguas quadradas: tomando por la evaporacion diaria la de las doce horas de que acabamos de hablar, y haciendo abstraccion de lo que se evapora durante las otras doce horas, que no es ciertamente una cantidad despreciable, como lo prueba el sereno (970); haciendo tambien abstraccion de lo que se evapora en el resto de la superficie del globo, estamos seguros de tener un producto bastante inferior al que debe ser en realidad; y sin embargo este producto del agua producida cada dia por el mar es de 203025351777834 pies cúbicos, lo qual compone, como se ve, mas de 20 millones de millones de pies cúbicos: masa enorme, y mucho mas que suficiente para contribuir al mantenimiento de todos los rios.

1045 No se concluya de aquí que no reciben los mares tanta agua como producen, pues que es cierto que una porcion vuelve inmediatamente á ellos desde la atmósfera, por medio de las lluvias, nieves, &c. que caen en su superficie; otra porcion penetra en las tierras, y vuelve á los mares por canales subterráneos; y de lo que queda, una porcion se eleva de nuevo en vapores, y otra porcion sirve para bebida de los hombres y de los anima-

Digitized by Google

les, y para el mantenimiento de la vegetacion.

1046 De todas las aguas naturales la mas pura es la llovida; pues aunque se halla mezclada con sustancias extrañas, estas son volátiles, y se desprenden de ella con facilidad, y esta es la causa de que sean tan útiles las cisternas, en las quales no se echa otra agua mas que la de esta especie. Todas las demas aguas no estan nunca perfectamente puras; porque además del calórico y el ayre, tienen quasi siempre en disolucion algunas sustancias extrañas, que les dan qualidades que no tendrian sin esto. Si estas sustancias son salinas ó metálicas, se conoce fácilmente echando en el agua algunas gotas de disolucion de plata en el ácido nítrico; é inmediatamente se vuelve el agua de color de leche, si contiene algunas materias salinas. Si se echa en ella unas gotas de infusion de nueces de agalla, se vuelve el agua negruzca en caso que contenga algunas partes ferruginosas. Estas diferentes sustancias disueltas en el agua son las que componen lo que se llama *aguas minerales*: de estas las unas tienen en disolucion hierro, sulfates, &c. tales son las de *Passy*, de *Forges*, de *Cransac*, &c.: otras son gaseosas ó aciduladas; tales son las de *Bussang*, de *Spa*, de *Pougues*, de *Chateldon*, de *Saint-Mian*, de *Seltz*, &c.: otras son salinas; tales son las de *Sedlitz*, de *Seydschutz*, de *Vals*, de *Contrexeville*, de *Pouillen*, de *Balaruc*, de *Châtel-Guyon*, de *Bourbonne-les-Bains*, de *Vichy*, de la *Motbe*, &c: otras son alcalinas; tales son las de *Sainte-Reine*, de *Merlange*, &c.: otras son sulfurosas ó hepáticas; tales son las de *Enghien*, de *Bonnes*, de *Baredge*, de *Cauterestz*, de *Plombiéres*, &c.: otras estan cargadas de sal marina, como las de *Salins*: otras de solepita, como las de *Arcueil*; cuyos manantiales deben estas qualidades á las minas por donde pasan.

1047 Quando el agua está bastante mezclada de cuerpos extraños que la vuelven impura, se necesita purificarla, á fin de que quede propia para emplearse en los usos de la vida: de todos los medios conocidos para esto el mas usado es la filtracion, y el mas eficaz la destilacion. La filtracion no purga el agua mas que de las materias groseras; y todo lo que se halla disuelto, como las sales, los sucos pedregosos, &c. pasa con el agua al través del filtro; y esto es lo que forma las estalactitas que se halla en las grutas subterráneas, como en las grutas de *Arcy* en Borgoña, &c. En lugar de que la destilacion purga el agua de todo lo que está fixo, y las sustancias volátiles que pasan con ella al recipiente, se volatilizan prontamente de nuevo, y la dexan en toda su pureza. Tambien es este el único medio eficaz para hacer potable el agua del mar.

1048 El agua, así como los demas líquidos, no parece nada compresible (27); es decir, que no se conoce fuerza alguna que pueda hacer disminuir una cantidad sensible un volúmen de agua dado. Sin embargo, no se la debe mirar como absolutamente incompresible; á causa de que siendo capaz de transmitir los sonidos (1003), ha de ser precisamente elástica, aunque muy poco, y todo cuerpo elástico es necesariamente compresible (32).

1049 Las partículas del agua tienen entre sí una cierta adherencia, de modo que es preciso una cierta fuerza para separarlas: la prueba de esto es que una gota de agua permanece suspendida á la punta del dedo, aunque las partículas inferiores de la gota no tocan mas que á otras partículas de agua. Esta es la causa de que una aguja ó unas hojas delgadas de metal, puestas sobre la superficie del agua, no se hundan en ella, no obstante su peso respectivo, por la razon de que la resistencia que oponen

Digitized by Google

las partículas de agua quando se las quiere dividir, es mas grande que el exceso de peso específico de estos cuerpos sobre el de un volúmen igual de agua.

1050 Si en el momento en que el agua cesa de ser yelo, se la expone al fuego en un vaso abierto, y sometido á la presion de la atmósfera, se calienta y se enrarece hasta el punto de cocer, no pasando de allí por mucho tiempo que se la tenga á la lumbre; y quando se la ha enrarecido tanto como puede estarlo, se ha aumentado su volúmen $\frac{1}{26}$; y tiene entónces 80 grados de calor.

1051 Pero si su superficie no estuviera cargada con el peso de la atmósfera, coceria mucho mas pronto, y con un calor menor, como se puede ver adaptando á la máquina neumática, por medio de un sifon inverso, el vaso que contiene el agua, haciendo en seguida el vacío en él, y quitando con esto quasi toda la presion de la atmósfera; en cuyo caso si se calienta el agua ligeramente, como por exemplo, sumergiendo el vaso que la contiene en agua caliente, cocerá con tanta fuerza como si el vaso estuviese puesto sobre un grande fuego.

1052 Si, por el contrario, estuviese el agua contenida por todas partes con obstáculos invencibles, como lo está en la *olla de Papin*, se calentaria considerablemente sin cocer; y el grado de calor que es capaz de tomar en semejante caso es prodigioso, y tal, que tal vez no seria cosa prudente el querer saber hasta donde puede llegar. Se sabe que el calor que toma el agua en esta olla es bastante fuerte para fundir el estaño, y aun el plomo; y esta es la razon de que las carnes, y todo género de frutos, se cuezcan en ella muy aprisa y con su propio xugo.

Digitized by Google

1053 De lo que acabamos de decir (1051), se sigue que en la cumbre de una montaña un poco elevada, el calor del agua hirviendo es sensiblemente menor que en su pie; lo qual ha sido verificado con experimentos por *de Thury* y *le Monnier*, de la Academia de las Ciencias.

1054 El agua se introduce y penetra en un gran número de especies de cuerpos; y aun entre los cuerpos duros, penetra las piedras areniscas, y todas las piedras sin brillo, excepto las piedras yesosas, las piedras pesadas, los espatos, los alabastros y los mármoles.

1055 El agua es el disolvente de un gran número de cuerpos; pero las sales son las sustancias que se disuelven en ella, ó en mayor cantidad, ó mas apriesa: sin embargo no las disuelve en igual cantidad, de todas las especies: las unas son mas solubles en ella que las otras; y de cada especie disuelve el agua una cantidad tanto mas grande, quanto mas caliente está; porque si se satura bien de una sal qualquiera un poco de agua hirviendo, y en seguida se la dexa enfriar, se verá que se precipita una porcion de esta sal, por no poderse ya mantener en disolucion. Por medio de los experimentos me he instruido y procurado conocer la cantidad de cada sal que puede disolver el agua mas fria: un kilógrama pues [1] de agua muy fria, y pronta á helarse, he hallado que puede disolver 12 onzas, 2 dracmas y $9\frac{3}{8}$ granos de muriate de sosa ó sal marina; 8 onzas, 7 dracmas y 3 granos de muriate de amoniaca; 8 onzas, 1 dracma, 39 ½ granos de carbonate de potasa, ó de sulfate de magnesia, ó de

[1] El kilógrama es igual á 2 libras, 2 onzas, 12 adarmes y 14,7 granos.

Digitized by Google

sulfate de sosa, ó en fin de tartrite de sosa; 6 onzas, 1 dracma y $4\frac{11}{16}$ granos de sosa; 4 onzas y $51\frac{1}{8}$ granos de nitro; ó de acetite de plomo, ó de sulfate de hierro, ó de sulfate de cobre, ó de sulfate de zinc; y 2 onzas y $25\frac{9}{16}$ granos de ácido borácico.

1056 El agua disuelve las sales insinuándose en sus poros con una fuerza mas grande que aquella con la qual se adhieren sus partículas las unas á las otras, lo qual quebranta su union. Pero la disolucion depende sin duda de una proporcion de magnitud y de figura entre las partes del disolvente y los poros del cuerpo á disolver: ahora, siendo los poros de las sales diferentes en las diversas especies de ellas, no debe tener el agua una fuerza igual para disolverlas á todas; y esta debe ser la razon por la qual disuelve mas de una sal que de otra. La disolucion es mas pronta y mas abundante en el agua caliente, por el motivo de que el calor aumenta la fluidez del agua, y la capacidad de sus poros y de los de la sal; y si el frio estrecha estos poros, una porcion de la sal es expelida de ellos, y se precipita al fondo del vaso.

1057 La disolucion de las sales en el agua presenta un fenómeno singular; y es, que al disolverse en ella la enfrian por lo regular: digo *por lo regular*, á causa de que se debe exceptuar algunas, tales como el carbonate de potasa, el acetite de plomo, y los sulfates de magnesia, de hierro, de cobre y de zinc. Entre todas las sales la que es mas propia para enfriar el agua disolviéndose en ella, es el muriate de amoniaca; sin duda porque siendo muy soluble se hace la operacion con mayor prontitud, y por esto mas sensible el enfriamiento: tambien es

Digitized by Google

muy propia para emplearse en lugar de la nieve quando se quiere enfriar los licores. Está la razon de este enfriamiento (que no dura mucho tiempo) en que una porcion de la materia del calor, en el estado de libertad, que contienen estas sustancias, queda desalojada por la penetracion recíproca del agua y de la sal en los poros la una de la otra. El muriate de sosa y la sal de ácido borácico no enfrian el agua mas que un grado; la sosa y el nitro la enfrian 5 grados; el tartrite de sosa 5 $\frac{1}{4}$ grados; el sulfate de sosa 5 $\frac{1}{2}$ grados; y el muriate de amoniaca 10 $\frac{1}{2}$ grados.

1058 El agua del mar, segun los experimentos de *de Marsilli*, *Halley*, *Hales*, &c. no tiene en disolucion sino muy poca sal marina, esto es, cerca de $\frac{1}{32}$ de su peso. Luego no es verosimil, como algunos quieren, el que haya en el mar minas de esta sal, destinadas á reemplazar la que sale de él diariamente; porque en este caso, disolveria el agua del mar mas de $\frac{1}{32}$ de su peso, ya que el agua mas fria puede disolver hasta $\frac{3}{8}$ de él. Mas puesto en razon está el pensar que ya no queda en el mar mas sal que disolver: que el equivalente de la que sale de él es conducida por las aguas que acuden allí; y que la que queda para la nutricion de los animales y de las plantas, se compensa con una porcion de la sal que se saca de las minas en muchos sitios, y que es tambien conducida allí por las aguas; por cuyo medio permanece siempre la misma sobre corta diferencia la saladura del agua del mar.

1059 El agua es capaz de apagar los cuerpos encendidos, con tal que pueda subsistir sobre ellos en el estado de líquido mas tiempo que el que puede durar el incendio; á causa de que quita el contacto

Digitized by Google

del ayre, fluido absolutamente esencial para la combustion de los cuerpos (940). Pero si se evapora y se descompone, se combina su oxígeno con el cuerpo que arde, y su hidrógeno (815), combinándose con el calórico, forma un gas inflamable, que, al encenderse, aumenta mucho la actividad del fuego.

El agua considerada en el estado de vapor.

1060 Quando el agua está mas caliente que el ayre con quien se halla en contacto, la materia del calor, que tiende siempre á esparcirse uniformemente, saliendo del agua, se lleva consigo las partes de ella mas sutiles, y las ménos adherentes á la masa, y combinándose con ellas reduce esta porcion del agua al estado de vapor, ó al de fluido elástico; cuyo fluido tiene propiedades particulares, que le distinguen del agua en el estado de líquido.

1061 El vapor es perfectamente invisible quando pasa á un ayre un poco seco, y cuya temperatura es algo elevada, como por exemplo, quando es de 18 á 20 grados, ó aun mas.

1062 Pero si el ayre que recibe el vapor está ya cargado de agua, y su temperatura no es mas que de 7 á 8 grados, ó aun ménos, entónces ya es visible el vapor, y forma una nube muy sensible de un blanco gris. Tambien se ve humear en invierno el agua que se saca de un pozo un poco profundo; lo que no sucede en verano. La apariencia de esta especie de nube se debe al agua que forma el vapor, la qual no puede disolverse en un ayre demasiado húmedo, y demasiado condensado.

1063 La combinacion del calórico con las partículas aquosas, que es lo que forma el vapor, las enrarece hasta tal punto, que en este estado de flui-

Digitized by Google

do elástico ocupan un volúmen 1200 ó 1400 veces mas grande que el que ocupaban en el estado de líquido; lo qual les da una ligereza respectiva, suficiente para elevarse en el ayre, y para vencer los rozamientos que sufren en su paso; cuyo efecto es el mismo que el que produce el calórico sobre las bases de todos los fluidos elásticos permanentes de que hemos hablado arriba (587 *y siguientes*).

1064 Quando el vapor está expuesto á un grado grande de calor, aumenta considerablemente de volúmen. El calor del agua hirviendo, que no enrarece el agua mas que $\frac{1}{20}$ (1050), enrarece el vapor hasta el punto de hacerle ocupar un volúmen 13 ó 14 mil veces mas grande que el del agua que le formó. Para asegurarse de esto, tómese un tubo de cristal, al extremo del qual haya una esfera, cuyo diámetro sea al del globulillo de agua que se introduzca en ella, como 24 es á 1; y tendremos que las solideces de estas dos esferas serán entre sí como 13824 es á 1: hágase calentar esta gota de agua hasta reducirla á vapor; y llenará la esfera de cristal, obligando á salir al ayre contenido en ella; por la razon de que si se sumerge entónces el extremo del tubo en agua un poco caliente, para que no se rompa la esfera, á proporcion que se condense el vapor por el enfriamiento, hará subir la presion de la atmósfera otra tanta agua como se necesite para llenar la esfera; luego habia sido desalojado de ella todo el ayre que contenia; luego al reducirse á vapor el agua, llenó enteramente la esfera, y tomó un volúmen cerca de 14 mil veces mas grande.

1065 Pero si el vapor está retenido por algunos obstáculos, aumenta el calor su resorte otro tanto como hubiera aumentado su volúmen si hubiese tenido la libertad de extenderse; en virtud de cuyo

Digitized by Google

aumento de resorte hace entónces el vapor, contra todo lo que le resiste, esfuerzos prodigiosos, y capaces de vencer obstáculos considerables; de lo que se tiene exemplos muy sobresalientes en las ingeniosísimas máquinas, llamadas *bombas de fuego*, que en el dia son bien conocidas de todos los físicos y de todos los artistas. En la que se halla establecida en *Chaillot* levanta el vapor el émbolo del cilindro grande, que tiene cinco pies de diámetro, y que está cargado con una columna de ayre, que pesa mas de 43500 libras.

1066 El esfuerzo del vapor retenido de este modo causa algunas veces accidentes bastante pesados. Quando se refrescan los cañones, con que se ha tirado durante un cierto tiempo, con la lanada, que no es otra cosa mas que un pellejo de carnero mojado, atado al extremo de un palo; si sucede que esta lanada llene muy exâctamente el calibre, no pudiendo extenderse el vapor que se forma en el fondo del cañon, arroja con violencia la lanada, llevándose algunas veces el brazo del artillero. Se podria prevenir este accidente, empleando en lugar de un palo, un tubo hueco que diese salida al vapor; y no puedo ménos de estar maravillado de que no se haga uso de un medio tan sencillo, mayormente quando ha tanto tiempo que se enseña en público.

El agua considerada en el estado de yelo.

1067 Hemos dicho arriba (1041) que no se halla el agua en el estado de líquido sino quando está combinada con una gran cantidad de la materia del calor, suficiente para mantener sus partes movibles entre sí. Quando por la inmediacion de un ayre frio pierde el agua, 1.° el calórico libre, se enfria, pero permanece líquida; si en seguida pierde su ca-

lórico combinado, el qual es necesario para sostener sus partes, para estorbarlas el que se reunan, y para mantener su movilidad respectiva, entónces se acercan sus partes, se tocan mas íntimamente, y por la fuerza de coherencia, se adhieren las unas á las otras, de modo que forman un cuerpo duro, que se llama *yelo*.

1068 Luego al helarse el agua, pierde la materia del calor que estaba combinado con ella, como lo veremos mas adelante (1096). Luego el paso del agua del estado de líquido al de yelo, que es á lo que se llama *congelacion*, no se debe sino á la falta de la materia del calor, ó del calórico combinado. De este modo es como piensan la mayor parte de los físicos del dia.

1069 *De la Hire y Musschenbroëck* pensáron de otro modo; pues que exígian para la congelacion unos corpúsculos frigoríficos, salinos ó nitrosos, esparcidos en el ayre; los quales introduciéndose en los poros de un fluido, suspenden el movimiento de sus partes, y las fixan en un cuerpo sólido y duro. Segun *Musschenbroëck*, 1.° estos corpúsculos frigoríficos, salinos ó nitrosos fixan las partes del agua, introduciéndose en sus poros; 2.° aumentan el volúmen del yelo, enrareciéndole con su penetracion; 3.° ayudan á la evaporacion, tendiendo á desviar sus partes. Veamos si todo esto se acuerda con los conocimientos adquiridos.

1070 Además de que la existencia de estos corpúsculos frigoríficos no se halla probada de modo alguno, 1.° se sabe que las sales, cuya mayor parte tienen en efecto la propiedad de enfriar el agua (1057), tienen al mismo tiempo la de hacerla mas dificil para helarse; luego estas sales del ayre que harian precisamente lo contrario, serian de una naturaleza muy diferente de la de las sales que conocemos. A mas,

Digitized by Google

en el verano se hace yelo del todo semejante al del invierno; ¿ hay entónces pues algunas partes frigoríficas en el ayre? y no se diga que se hallan estas en la mezcla de la sal y del yelo de que se hace uso; porque seria necesario decir tambien por que esta mezcla se derrite al adquirir un grado mayor de frio (1093). Luego no son unos corpúsculos frigoríficos salinos los que fixan las partes del agua formando yelo de ella.

1071 2.° Si estos corpúsculos salinos son los que aumentan el volúmen del yelo penetrándole, ¿ por qué hacen un efecto del todo contrario sobre la mayor parte de las materias, que del mismo modo que el agua, se endurecen y se hielan con el frio? porque la congelacion de las diferentes sustancias es sin duda producida por la misma causa.

1072 3.° ¿ Cómo se puede sostener que estos corpúsculos salinos apresuran la evaporacion del yelo, tendiendo á desviar sus partes; quando se sostiene al mismo tiempo que ellos fixan estas partes, haciendo con respecto á ellas, el oficio de una materia pegajosa? ¿ No hay en esto una contradiccion manifiesta? A mas, recójase con cuidado la nieve ó granizo acabado de caer de la nube: derrítasele y hágase la análisis del agua, y no se encontrará sal alguna en ella. Luego estas partes salinas no son necesarias para la congelacion.

1073 El agua aumenta de volúmen al aproximarse á la congelacion, como lo prueba la experiencia: metiendo la vasija *a b* (*fig.* 135), llena de agua hasta *c* en un vaso en donde haya una mezcla de sal y de nieve *d e f g*, se eleva el agua 1.° de *c* hasta *b*; lo que parece provenir de que se estrecha instantáneamente la vasija, que se ha sumergido de repente en un intermedio frio (1133): bien pronto despues se condensa el agua, y desciende poco á poco desde *b* á *i*,

Digitized by Google

en donde se suspende durante algun tiempo; pero bien pronto, llegando á enrarecerse, se eleva de *i* á *k*; y pocos instantes despues, por una violenta rarefaccion, se eleva hasta *l*; á cuyo tiempo aparece el agua en *b* toda enturbiada, y semejante á una nube, y este es el momento en que comienza á congelarse: en tanto que el yelo se endurece cada vez mas, y que una parte del agua contigua al cuello de la vasija *b* se congela, continúa el agua elevándose de *l* hácia *a*, y concluye en fin vaciándose en parte de la vasija que la contiene.

1074 Una vez formado el yelo tiene un volúmen mas grande, y un peso específico menor que el del agua, pues que nada sobre ella. Sin embargo, no se debe, así como lo hizo *Galileo*, mirar el yelo como agua dilatada; pues que realmente está condensada; y el aumento de su volúmen, así como el del agua en el momento de la congelacion (1073), no se debe mas que al ayre, que habiendo salido de los poros del agua por la aproximacion de sus partículas, se reune en bolas, que no pudiendo salir de la masa, porque la superficie es comunmente la primera que se hiela, se esparcen en esta masa, y ocupan en ella nuevos sitios, que este ayre no ocupaba quando estaba diseminado en los poros. Así es como piensan los mas célebres físicos *Huygbens*, *Homberg*, *Mariotte*, *y de Mairan*. Tambien se ha observado que el yelo hecho con agua bien purgada de ayre, es sensiblemente mas pesado que el otro; aunque no se haya podido aun conseguir el hacer yelo mas pesado, ni aun tan pesado como el agua, por no ser posible el purgarla de todo el ayre que contiene. Segun *de Mairan*, el yelo hecho con agua purgada de ayre, no excede mas que $\frac{1}{22}$ el volúmen de agua que le formó, en tanto que el yelo he-

Digitized by Google

cho con agua no purgada de ayre, excede á este volúmen en $\frac{1}{9}$ ó $\frac{1}{10}$.

1075 Este aumento de volúmen causado por un fluido cuya elasticidad es perfecta (905), es el que da tanta fuerza al yelo; del que los esfuerzos en ciertos casos son prodigiosos. Todos tienen noticia del famoso experimento de *Huygbens*, en el qual habiendo sido expuesto un cañon de hierro del grueso de un dedo lleno de agua, y bien cerrado, á una fuerte helada, reventó por dos partes al cabo de doce horas. Habiendo *Musschenbroëck* calculado el esfuerzo que había hecho el yelo en este caso, encontró que era equivalente á una fuerza capaz de levantar un peso de 27720 libras; lo qual es casi increible. (*Tentam. pág.* 135).

1076 Luego no debe maravillar el que el yelo rompa las vasijas de loza, de porcelana, y aun de metal que le contienen: que levante los empedrados: que reviente los encañados de las fuentes, que no se ha tenido la precaucion de tener vacíos durante la helada: que abra las piedras, los árboles, &c.; cuya mayor parte de estos efectos no se verifican quando el yelo ha sido precedido por un tiempo seco, á causa de que entónces no se halla debaxo de los empedrados, ni en las hendiduras de las piedras ni de los árboles, agua que pueda helarse.

1077 Una masa de yelo formada por una congelacion lenta, parece bastante homogenea, y bastante transparente desde su superficie, que se heló la primera hasta algunas líneas de profundidad; á causa de que las bolas de ayre que se forman allí (1074) pasan, en tanto que pueden, á la parte líquida. Pero en el resto de su interior, y sobre todo hácia su medio, está interrumpido el yelo por una gran cantidad de estas bolas de ayre; y la superficie supe-

Digitized by Google

rior, que primero era plana, se halla llena de desigualdades, y toda escabrosa.

1078 Una congelacion pronta esparce indiferentemente las bolas de ayre en toda la masa, la que, en virtud de esto, es quasi enteramente opaca, á causa de que el todo está compuesto de partecillas de densidades diferentes (1486); y la superficie superior se hace tambien mas convexa y mas desigual que en el caso de una congelacion lenta; por la razon de que el aumento de volúmen del yelo (1074) es tanto mas grande quanto mas rígida es la helada.

1079 El yelo de las aguas corrientes se forma de diferente modo que el de las aguas paradas: quando obra el frio sobre una agua tranquila, hace helar primero la superficie; y comunicándose despues de capa en capa, y penetrando el grueso del agua, aumenta el del yelo primeramente formado: la mayor parte del ayre que sale de los poros del agua, á medida que sus partes se acercan para reunirse, y tomar una forma sólida, no pudiendo escaparse por la superficie superior, que está ya helada, baxa á la parte inferior, y por allí interrúmpe ménos la continuidad del yelo. Tambien el yelo formado de este modo es por lo regular el mas duro, el mas unido, el mas transparente, y de un color mas parecido al del agua. No sucede lo mismo con los pedazos de yelo que se ve flotar sobre las aguas de los rios, quando estas los acarrean; pues que tienen mucha ménos consistencia, y son como esponjosos: su superficie es desigual y escabrosa: son opacos, y de un color blanquecino: la parte inferior y las orillas estan por lo regular cargadas de un grueso bastante considerable de yelo impuro, y lleno de yerbas, de arena, de tierra, &c. Es fácil el dar razon de estas diferencias, considerando el modo con que se forman estos pedazos de yelo.

Digitized by Google

1080 Quando el frio es bastante grande, no solamente se hiela el agua en las orillas de los rios, y en las bahías ó remansos en donde no está agitada por la corriente, sino tambien en los sitios en donde sus partes no tienen velocidad alguna respectiva, es decir, en donde se mueven todas juntas, y con un movimiento comun, que no las desaloja las unas con respecto á las otras; de modo que parece que el agua está parada. Quando el yelo se apodera de la superficie de uno de estos sitios, que por lo regular se hallan en los rios grandes, resulta un pedazo de yelo, que es llevado por la corriente; lo qual da lugar á que se forme otro pedazo en el mismo sitio, y así de seguida. Estos pedazos de yelo así formados y aislados, como eran primero muy delgados, se rompen al primer choque; de modo que hay muy pocos que permanezcan enteros, ó de los que se conserven los fragmentos de una cierta magnitud; haciéndose lo que queda mil pedazos por toda suerte de accidentes. Entónces pues se halla el rio cubierto de pedazos de yelo de una cierta anchura que siguen la corriente, y de una grande cantidad de otros mas pequeños que flotan á la voluntad del agua, y que el mehor obstáculo hace parar. De aquí resultan dos cosas, 1.ª teniendo los pedazos grandes de yelo mas masa, y conservando por consequencia mas velocidad que los pequeños, se hallan estos últimos continuamente expuestos al encuentro de los primeros, y obligados por esto, ó á unirse á sus orillas, y formar allí una costra, que se eleva por lo regular por encima del plano, ó á pasar por encima ó por debaxo de él, y á pararse allí á causa del rozamiento. Continuando siempre la helada, fixa estos pedacillos de yelo á los pedazos grandes, pero de un modo imperfecto; por la razon de que no se tocan mas que por algunos puntos de su su-

Digitized by Google

perficie; y esta es una de las causas que aumentan considerablemente el grueso de los pedazos grandes de yelo. Luego estando estos formados de piezas mal unidas, no es de maravillar que tengan poca consistencia, que sean mucho ménos duros que los que se forman en las aguas paradas, y que sean opacos y de un color blanquecino. 2.ª Todos estos pedacillos de yelo que pasan por debaxo de los grandes, además de que no se fixan á ellos sino muy débilmente, no se unen tampoco sino con mucha imperfeccion, encerrando entre las cavidades que dexan, no solamente mucho ayre, sino tambien muchas yerbas, arena, tierra, ú otras suciedades que juntan en su camino, tocando freqüentemente al fondo.

1081 Esta última especie de pedazos de yelo ha hecho creer á la mayor parte de los que habitan á orillas de los rios, y aun á excelentes físicos, tales como *Boyle*, que los pedazos de yelo que conducen las aguas, se formaban primero en el fondo de ellas, elevándose despues á la superficie. El raciocinio solo basta para persuadirse de lo contrario; porque viniendo de la atmósfera el frio que hace helar el agua, no puede tener su efecto en el fondo de ella, á ménos que ántes no haya hecho helar toda la que está encima. A mas, nunca se encuentra pedazos de yelo en el fondo de los grandes rios, que son los que acarrean mayor número de ellos (porque los rios pequeños se hielan del todo muy prontamente); luego los que acarrean las aguas de estos rios no se han formado en el fondo de ellos.

1082 Es verdad que se han visto algunas veces pedazos de yelo en el fondo del agua, sin que estuviese helada la de encima; pero esto no se verifica sino en el fondo de los arroyos ó riachuelos que tienen poca profundidad, y jamas en el fondo

Digitized by Google

de los rios grandes; y aun este fenómeno es poco freqüente; el qual no se verifica quando la helada es rígida, á causa de que entónces estos riachuelos, que por lo regular no corren mas que en su superficie, se hielan del todo prontamente. Sin embargo puede verificarse este fenómeno quando la helada es poco fuerte, con tal que dure un cierto tiempo; pues entónces se comunica el frio de seguida por el terreno, desde las dos orillas hasta en medio del fondo; y el agua que en este sitio no tiene mas que un movimiento muy lento, el qual se disminuye aun por el rozamiento que padece el fluido en el fondo, puede enfriarse bastante para formar pedazos de yelo debaxo del agua no helada. Pero estos pedazos de yelo no son de aquellos que pueden conducir las aguas; porque para que se desprendiesen del fondo era preciso que disminuyese mucho el frio; y entónces ya no acarrean los rios pedazos de yelo.

1083 La superficie de los rios grandes tardaria mucho mas en helarse del todo, segun la velocidad de su corriente, si no fuesen detenidos los pedazos de yelo por algun obstáculo, como por exemplo los puentes; á cuyos arcos será muy bueno, por esta causa, el darles bastante anchura, á fin de dexar á los pedazos de yelo mas libertad para que puedan pasar.

1084 Quando se forma el yelo lentamente, y con un frio muy rígido, es considerable su dureza; pues que excede algunas veces á la del marmol. Parece que el yelo es tanto mas capaz de resistir á su rotura ó á su aplanamiento, quanto mas compacto está y ménos ayre tiene, ó quanto mas grande es el frio con que ha sido formado en paises muy frios. los yelos de *Spitzberg* y de los mares de *Islandia* son tan duros, que es muy dificil romperlos con el martillo. He aquí una prueba bien singular de la fir-

meza y de la tenacidad de estos yelos septentrionales: durante el rigoroso invierno de 1740, se construyó en *Saint-Petersbourg*, segun las reglas de la mas elegante arquitectura, un palacio de yelo de 52½ pies de longitud, 16½ de ancho, y 20 pies de alto, sin que el peso de las partes superiores y de la cubierta, que era tambien de yelo, perjudicase en la mas mínima cosa el pie y paredes del edificio; para el qual habia dado los materiales el *Neva*, rio inmediato, en donde el yelo tenia 2 ó 3 pies de grueso. Para aumentar la maravilla se colocó delante del edificio seis cañones de yelo con sus cureñas de la misma materia, y dos morteros para bombas con las mismas proporciones que los de fundicion. Estos cañones tenian el mismo calibre que el que tienen los que por lo regular necesitan tres libras de pólvora; pero, sin embargo no se los cargó mas que con un quarteron; y habiéndolos disparado, agujereó la bala de una de estas piezas, una tabla de 2 pulgadas de grueso, puesta á la distancia de 60 pasos; sin que padeciese con esta explosion alteracion ninguna el cañon, cuyo grueso era á lo mas de 4 pulgadas. Este hecho hace creible lo que refiere *Olaus-Magnus* de las fortificaciones de yelo, de que asegura saben aprovecharse en la necesidad las naciones septentrionales. (*De Mairan, Dissertation sur la glace seconde part. 3. sect. chap. 3.*)

1085 Si suponemos una masa de agua expuesta en un sitio quieto, en donde la temperatura sea de 6 á 7 grados por baxo de la congelacion, el reposo, tanto de esta masa de agua como del ayre que la toca, inmediatamente, produce con freqüencia un efecto que he observado muchas veces, y que no era fácil el proveer. Este doble reposo impide el que el agua se hiele, aun quando haya adquirido un grado de frio muy superior al que naturalmente nece-

Digitized by Google

sita para perder su liquidez; pero si en este estado sufre el agua la mas ligera agitacion, de la parte del ayre, ó de otro qualquier cuerpo que la rodee, se hiela en el instante; por manera que si se halla en alguna vasija, y se la quiere verter, ya no es agua lo que se vierte, sino yelo. *A. Farenheit* es á quien debemos la primera observacion de este fenómeno; pues que él fué el primero que vió, con la mayor sorpresa, agua enfriada hasta el 15.º grado de su termómetro (lo qual corresponde á $7\frac{5}{9}$ grados por debaxo de cero del termómetro de mercurio de *de Luc*) mantenerse en una liquidez perfecta hasta el momento en que se la agitaba; cuyo experimento ha salido del mismo modo á otros muchos físicos que han tenido la curiosidad de repetirle. Lo que hay en esto de muy singular es que el agua, enfriada así hasta muchos grados por baxo del término de yelo, quando llega á helarse en conseqüencia de la agitacion que se le da, hace subir, al tiempo que se hiela, el líquido del termómetro al grado ordinario de congelacion; de adonde se sigue que el agua disminuye de frio al helarse: especie de paradoxa, que necesita de toda la autoridad de la experiencia para poder ser creida, y que yo voy á hacer lo posible para explicar.

1086 El calórico combinado con un cuerpo no excita grado ninguno de calor sensible (588): veremos bien pronto (1096), que para que el yelo se vuelva líquido, ó para que el agua permanezca tal, es preciso que una cantidad bastante grande de la materia del calor esté combinada con ella, y que esta cantidad de calórico combinado no la ponga mas caliente, lo que no la estorba el enfriarse á proporcion que pierde algo de la materia del calor libre que la penetra; y esta es la razon de que conserve

Digitized by Google

su liquidez, en tanto que retiene el calórico combinado, aunque se enfrie por baxo del término de la congelacion; pero si pasa al estado de yelo, pierde necesariamente el calórico combinado, que tomando el estado de libertad, excita algo de calor sensible. He aquí por que este agua disminuye de frio al helarse.

1087 Quando el agua no es pura, mediante hallarse mezclada con algunas sustancias extrañas, se necesita un grado mas grande de frio para hacerla tomar el estado de yelo; y este grado de frio debe ser mas ó ménos considerable, segun la naturaleza y la cantidad de las sustancias mezcladas con el agua. He aquí por que retardan la congelacion del agua, las sales, el azucar, los espíritus, &c.; cuyas sustancias producen en ella, poco mas ó ménos, el mismo efecto que produce la materia del calor, ya esté libre, ya esté combinado; á causa de que hallándose colocadas sus partículas entre cada partícula de agua, las impiden el reunirse, conservándoles así su movilidad respectiva, hasta que en fin la fuerza de la coherencia comprime estas partes, y obliga á estas sustancias extrañas á desalojar de qualquier modo el sitio que ocupan, y á pasar á la parte que se halla aun líquida. He aquí por que, quando se hiela el agua que está cargada de sal, azucar, &c. se encuentra el centro del yelo cargado, mas que el resto, de estas sustancias, cuyo yelo es mas frio que el yelo de agua pura. Lo mismo sucede con todas las bebidas heladas que bebemos en el verano; pues como hay unas que estan mas cargadas que otras de azucar ó de espíritus, hay tambien algunas que estan mucho mas frias que otras.

1088 Todos saben que se hielan los frutos durante los inviernos que son algo crueles; en cuyo estado pierden por lo regular todo su gusto, cayen-

do frequentemente en la putrefaccion quando se pone templado el tiempo. Las partes aquosas que contienen estos frutos en gran cantidad, convertidas en otros tantos pedacillos de yelo, cuyo volúmen aumenta (1074), rompen, y revientan los vasos pequeños que las encierran; lo qual destruye la organizacion.

1089. Alguna cosa semejante á esto se observa tambien en los hombres y en los animales que habitan en paises frios; en donde no es raro el ver personas que han perdido las narices ó las orejas, por haber estado expuestos á una helada grande. Estos accidentes no dexan tampoco de tener exemplos en los climas templados: yo mismo he sido testigo de un accidente de esta especie, acaecido en el departamento de la *Vendée*, y que fué muy funesto á dos marineros; los quales perdiéron todos los dedos de las manos, por habérselos deshelado demasiado prontamente. Quando un miembro se ha helado, no se conseguirá salvarle, sino haciéndole deshelar muy lentamente; teniéndole por exemplo, en un sitio en donde no hiele, metido durante algun tiempo en nieve ó yelo machacado, hasta que este se deshaga; despues de lo qual se pasa la parte helada á una agua ménos fria; despues á agua un poco tibia, y asi de segunda calentándola poco á poco, y por grados que crezcan muy lentamente. La lentitud del deseyelo es absolutamente necesaria; pues que si este se verifica en un tiempo muy corto de modo que no dé á las partes de un cuerpo helado el tiempo preciso para volver á tomar el órden que perdiéron, destruye en este cuerpo la organizacion que se quiere conservar.

1090. Se sigue de aquí que los frutos que se hielan en los árboles se pierden sin remedio, si sobreviene una blandura de repente; la qual no será mé-

nos dañosa que una grande helada que suceda sin intermision de tiempo á una humedad muy grande.

1091 No median las mismas circunstancias entre el frio que hace helar el agua, y el calor que le hace hervir; pues que el agua que hierve no aumenta el calor que tiene por mucho tiempo que se la tenga á la lumbre (1050); pero el yelo, una vez formado, si se halla expuesto á un frio que dura un cierto tiempo, y que vaya aumentando, adquiere siempre frio de mas á mas.

1092 Puede tambien el yelo volverse mas frio artificialmente, mezclando con él sales, ó espíritus ardientes, ó ácidos. De todas las sales, la que es mas á propósito para enfriar el yelo, es la sal marina, ó muriate de sosa; y la dosis mas conveniente es tres partes ponderales de sal, y ocho de yelo.

1093 Lo que hay en esto de singular es, que estas sales ó espíritus deshacen el yelo enfriándole: el yelo que no puede ser yelo sino en virtud del frio, y que sin embargo cesa de serlo enfriándose, es un fenómeno bien particular, y muy dificil de explicar, para aquellos que hacen consistir la liquidez en un movimiento actual de las partes del líquido, y que pretenden que las sales enfrian el agua, porque disminuyen este movimiento; dificil de explicar digo, á causa de que en el caso presente son las sales las que dan la liquidez al yelo: luego segun ellos estas no disminuyen el movimiento, sino que le animan: sin embargo, ellas enfrian el yelo; luego este frio no es la señal de un movimiento disminuido. Pero este fenómeno será fácil de explicar, diciendo, que basta para la liquidez la movilidad respectiva de las partes, y que la disminucion de la cantidad de la materia del calor en estado de libertad, basta para el enfriamiento; que es lo que se verifica en el caso de que se trata; porque penetrándose mútuamen-

Digitized by Google

le la sal y el yelo, 1.º restablecen esta movilidad respectiva de las partes, lo qual ayuda para que se deshaga el yelo; 2.º desalojan por un tiempo de sus poros una porcion de la materia del calor libre que estaba en ellos, y una parte de ella pierde su libertad, combinándose con el yelo para liquidarle; lo qual es causa de que se enfrie la mezcla. Esta penetracion mutua de la sal y del yelo está probada de un modo incontestable, 1.º por la fusion recíproca de estas dos sustancias; 2.º porque ocupan despues de la fusion ménos espacio que ántes. Esta fusion es una condicion absolutamente esencial para el enfriamiento; porque si se deseca el yelo y la sal por medio de un frio de 12 ó 14 grados, de modo que no quede nada de humedad que pueda comenzar la fusion, no se enfria la mezcla, por no haber allí ni fusion, ni penetracion. Y si se dice que el yelo está entónces con un grado de enfriamiento tal, que no puede aumentarse su frio, se quedará convencido de lo contrario, echando sobre este yelo espíritu de vino, ó ácido nítrico ó muriático; en cuyo caso será considerable el enfriamiento, y podrá llegar hasta 30 grados.

1094. Aunque el yelo sea un cuerpo sólido, y muy duro (1084), se evapora considerablemente, y aun mas que el agua en tiempos iguales; lo qual proviene, así como lo ha pensado *de Mairan*, de la contextura particular del yelo, que ocupando un volúmen mas grande que el agua (1074), y ofreciendo una superficie mas grande, cubierta de un gran número de desigualdades, debe por esto mismo, no obstante su dureza, presentar mayor presa á la causa general de la evaporacion (1060). Se puede añadir á esto, que la sequedad del ayre y del viento, que acompañan quasi siempre en nuestros climas á las grandes heladas, deben aumentar con mucho la eva-

Digitized by Google

poracion; porque un ayre seco está mas dispuesto á cargarse de vapores, que por otra parte se elevan en mayor cantidad quando se renueva sin cesar este ayre.

1095. En el instante en que el calor se reanima en el ayre, y que se hace superior al grado que producia la congelacion, se combina el yelo con el calórico, y se deshace; siendo su fusion mas ó ménos pronta, segun la densidad de los cuerpos que le tocan, suponiéndolos á todos de una temperatura igual. Tambien se deshace el yelo mas prontamente en el agua que en el ayre, mas pronto sobre el mármol que sobre la madera, á causa de que siendo mas densos estos primeros cuerpos, tocan al yelo en un número mas grande de puntos, por los quales se comunican mas prontamente parte de su calor. Nunca es el deseyelo mas general y mas pronto que quando reyna un viento de sud suave y húmedo.

1096. El yelo no se deshace á ménos que no se combine con una cantidad bastante grande de la materia del calor, la qual no añade nada á su temperatura (588); de lo que es fácil convencerse con el experimento siguiente. Echese en un vaso conveniente dos libras de hielo machacado: métase en él un termómetro de mercurio de *de Luc*, el qual está dividido en 80 grados desde el término de la congelacion hasta el del agua hirviendo; y este instrumento se fixará en cero, ó término de la congelacion: échese en seguida sobre este yelo machacado dos libras de agua calentada hasta los 60 grados; y al cabo de algunos instantes se deshará enteramente el yelo, y la temperatura de la mezcla se hallará aun en cero. Esto prueba que toda la materia del calor libre, capaz de hacer que se percibiesen estos 60 grados de calor, se ha combinado con el yelo para hacerle pasar al estado de líquido, y no ha aumenta-

Digitized by Google

do nada su temperatura. No sucederia esto si el yelo estuviese ya convertido en líquido ántes de hacer la mezcla, aun quando no tuviese mas que una temperatura de un grado por cima de la congelacion, ó aun quando tuviese una temperatura de 6 grados por baxo; en cuyo caso seria la temperatura de la mezcla la mitad de la suma de las dos. Si la temperatura del agua fria fuese de un grado por cima de la congelacion, la de la mezcla seria de $30\frac{1}{2}$ grados, mitad de 60 mas uno; y si la temperatura del agua fria fuese de 6 grados por baxo de la congelacion, la de la mezcla seria de 27 grados, mitad de 60 ménos 6. *Lavoisier* y *de la Place* (*Memorias de la Academia, año de* 1780, *pag.* 373) enunciáron este fenómeno, independientemente de las divisiones arbitrarias de los pesos, y del termómetro, de un modo general, que es el siguiente: *el calor necesario para derretir el yelo, es igual á los tres quartos del calor, capaz de elevar á la temperatura del agua hirviendo el mismo peso de agua puesta á la temperatura del yelo que se deshace.*

CAPÍTULO XIII.

DE LA NATURALEZA, Y DE LAS PROPIEDADES DEL FUEGO.

1097. Lo que vulgarmente se llama *fuego* no es mas que un cuerpo encendido, cuyas partes se desunen, y evaporan en humo, en llama, en vapor, &c. A los ojos de un físico no es este incendio mas que el efecto de una causa, que se ha escondido á nuestras indagaciones largo tiempo; pero de la qual podemos decir, que tenemos en el dia mas conocimien-

to que el que teniamos ántes. Se conviene pues unánimemente en el dia que lo que causa el incendio de los cuerpos es una verdadera materia; pero que necesita ser excitada para obrar: y como la materia que hace quemar los cuerpos es capaz de alumbrarnos, y como la que los hace visibles es capaz de quemarlos, es bastante razonable el pensar que el principio del fuego y el de la luz son una sola y misma sustancia, pero diferentemente modificada. Como principio de la combustion, esta materia se llama *calórico*; y como principio de la claridad, se llama *luz*.

1098 Exâminémos primeramente esta materia como causa del calor y de la combustion; y veamos, 1.° qual es su naturaleza; 2.° quales son los medios de excitar su accion; 3.° de qué modo se propaga esta accion; 4.° quáles son sus efectos sobre los cuerpos; 5.° quáles son los medios de aumentar su accion, de disminuirla, ó tambien de hacerla cesar.

De la naturaleza del fuego.

1099 El principio del fuego es un fluido muy sutil, muy raro, muy elástico, nada pesado, esparcido en toda la esfera del universo, que penetra los cuerpos con mas ó ménos facilidad, que tiende, quando está libre, á ponerse en equilibrio en todos, y al qual se le ha dado sucesivamente los nombres de *principio inflamable*, *principio del calor*, *materia del calor*, hasta que los modernos le han dado el de *calórico*.

1100 Este fluido penetra de parte á parte todos los cuerpos, aun los mas duros: se combina con muchos, y tiende á esparcirse uniformemente: él solo es suficiente para calentar los cuerpos; pero no basta para quemarlos; sino que es preciso que le ayu-

Digitized by Google

de otro fluido, que es el ayre puro (664); y aun no basta el concurso de estos dos fluidos, si no se excita su accion con algunos medios, que solo los hombres saben emplear.

1101 La materia del calor es de una naturaleza fixa é inalterable; es de tal modo fluida, que no cesa jamas de serlo, á ménos que no se combine con ciertos cuerpos; es, á mas, la principal causa de la fluidez de los cuerpos; cuyas partes se desvian, se separan las unas de las otras, pierden su adherencia, y reciben en fin la movilidad respectiva en que consiste su fluidez, en virtud de la accion del calor. La disminucion de esta accion, ó la ausencia del calor es la causa de que las partes de los cuerpos se acerquen, adhieran, y unan las unas á las otras, volviendo á tomar en fin la consistencia que les habia hecho perder este fluido; y aun me parece que se puede decir, que la materia del calor es la sola sustancia fluida por sí misma, y que sin ella, no habiendo nada que contrabalancease la tendencia general que tienen todas las partes de la materia las unas hácia las otras (194), estarian unidas todas juntas, de modo que no formarian mas que un sólido.

1102 La materia del calor es capaz de descomponer los cuerpos mas duros: nada la resiste, y ella resiste á todo. Se la puede mirar como un disolvente universal; propiedad que la distingue esencialmente de todas las demas sustancias.

1103 La materia del calor está presente por todas partes: todos los cuerpos estan como embebidos en ella: ella está en la tierra que habitamos, en el ayre que respiramos, en los alimentos que nos mantienen, en nosotros mismos; y aunque es capaz de destruirlo todo, y de consumirlo todo, como su accion no es jamas por sí misma bastante fuer-

Digitized by Google

te para causar la combustion (1100), bien léjos de dañarnos, es al contrario por quien vivimos: ella compone parte del fluido que respiramos (647), y es quasi la sola porcion del fluido, que sirve para mantener la vida (934).

1104 La materia del calor, ó el calórico existe por lo regular en los cuerpos en dos estados; en el de combinacion, y en el de libertad (588): en el primer estado no excita esta materia calor ninguno sensible á nuestros órganos; al contrario, en el estado de libertad excita un calor tanto mas fuerte, quanto mas abundante es.

1105 Los diferentes cuerpos no contienen, á temperatura igual, baxo el mismo volúmen, igual cantidad de la materia del calor ó del calórico combinado; habiendo entre ellos, con respecto á esto, unas diferencias independientes de sus densidades respectivas. Se ha pretendido medir la cantidad del calórico, que son capaces de contener las diferentes especies de cuerpos: *Lavoisier* y *de la Place* (*Memorias de la Academia de las Ciencias, año de 1780, pág.* 355) hicieron con esta mira algunos experimentos ingeniosos. Para entender bien esto, es preciso saber que quando toma el estado de libertad la materia del calor combinada en un cuerpo, resulta un grado de calor sensible, tanto mas fuerte, quanto mas calor se desprende; y á esta cantidad de materia del calor combinada con el cuerpo, es á lo que se llama su *calor específico*. Para medirla, colocáron los cuerpos, *Lavoisier* y *de la Place*, en un vaso interior rodeado de otro vaso lleno de yelo, el qual estaba tambien separado del calor de la atmósfera por medio de otra cubierta de yelo contenida en un tercer vaso que rodeaba al segundo. El calórico que se desprende del cuerpo puesto al experimento, hace pasar del estado de sólido al es-

Digitized by Google

tado de líquido, á una parte del yelo del segundo vaso, combinándose con él, y por conseqüencia sin añadir nada á su temperatura (1096); cuya porcion de yelo derretida cae á un vaso colocado debaxo de la máquina. Se sabe qual es la cantidad de calórico que debe combinarse con el yelo para reducirle al estado de líquído (1096); luego la cantidad de yelo derretido denota la cantidad de calórico que se ha desprendido del cuerpo puesto al experimento, lo qual determina su *calor específico*.

1106 Resulta de lo que acabamos de decir (1105) que en el paso de un cuerpo del estado sólido al estado fluido, hay una grande cantidad de calor absorvida, por combinarse con este cuerpo; y esta es la causa de que sea el frio aun muy sensible al tiempo del deseyelo. Lo mismo sucede en el paso del estado fluido al de vapor; y he aquí por que siempre que una sustancia se evapora encima de un cuerpo, queda este mas frio (1169). Lo contrario sucede, es decir, que hay calor producido, quando un cuerpo pasa del estado de vapor al de fluido, ó del estado de fluido al de sólido.

1107 Luego si en una combinacion ó en una variacion de estado qualquiera, hay una disminucion de calor libre, volverá á comparecer todo este calor, quando las sustancias vuelvan á su primer estado; y recíprocamente si en la combinacion ó en la variacion de estado hay un aumento de calor libre, desaparecerá este nuevo calor quando las sustancias vuelvan á tomar su estado primitivo. Este principio está confirmado por la experiencia, y *Lavoisier y de la Place* (*Memorias de la Academia de las Ciencias, año de* 1780, *pág.* 359) le han generalizado y extendido á todos los fenómenos del calor del modo siguiente: *todas las variaciones de calor, ya sean reales, ya aparentes, que padece un*

Digitized by Google

sistema de cuerpos al variar de estado, se reproducen en un órden inverso, quando el sistema vuelve á pasar á su primer estado.

De los medios por los quales se puede excitar la accion del fuego.

1108 Por lo regular no empleamos, para excitar la accion del fuego, sino uno de estos tres medios: á saber, 1.° el choque ó el rozamiento de los cuerpos sólidos; 2.° la fermentacion ó la efervescencia; 3.° la reunion de los rayos solares.

1109 *Primer medio.* El choque ó el rozamiento de los cuerpos sólidos es el medio que empleamos con mas freqüencia para excitar la accion del fuego; pues que para obtenerle es lo comun el frotar ó herir con un eslabon de acero templado contra una piedra. No hay cuerpos ningunos sólidos que no se puedan calentar por lo ménos hiriendo el uno contra el otro, ó frotándoles; y hay pocos cuyo calor así excitado, no pueda aumentar hasta el punto de hacerles echar chispas, ó quemarlos; á causa de que entónces se anima el calórico libre que está en estos cuerpos, y por su penetracion entre las partes, los dispone á combinarse con el oxígeno que les comunica el áyre de la atmósfera; en cuya combinacion es en lo que consiste la combustion (653). Pero estos efectos son mas ó ménos prontos, mas ó ménos grandes, segun la naturaleza de los cuerpos que se frota ó que se choca, y segun la duracion ó la violencia de los choques ó de los rozamientos. Con respecto á la naturaleza de los cuerpos, aquellos que tienen mas tenacidad y mas resorte, son los mas propios para calentarse ó encenderse por los choques ó rozamientos; y como el efecto del rozamiento crece con la presion y la ve-

Digitized by Google

locidad (100 y 106), quanto mas violenta y freqüente es la colision, tanto mas eficaz es. En efecto se puede hacer asqua una hoja de acero medianamente calentada, machacándola con continuados golpes sobre un ayunque: no sucede esto con una hoja de plomo, á causa de que para enroxecer este metal se necesita derretirle; luego seria necesario que se derritiese debaxo del martillo, lo que no sucede nunca. Si se frotan algunas maderas para inflamarlas, áquellas que son mas duras y estan mas secas son las que se encienden mas fácilmente. Si se descuelga uno por una cuerda, su rozamiento contra las manos produce ampollas en ellas, como si se hubiese agarrado un hierro hecho asqua.

1110 *Segundo medio.* No puede verificarse la fermentacion y la efervescencia sin excitar un calor, que llega algunas veces hasta quemar. Si se mezcla dos sustancias que esten muy dispuestas á penetrarse mútuamente, y á introducirse la una en los poros de la otra, se excita una efervescencia que produce calor.

1111 EXPERIMENTO. Echese un ácido sobre un alcali, y se excitará una efervescencia que producirá calor sensible. Mézclese con agua ácido sulfúrico bien desflemado, y se producirá un calor muy vivo, tal que puede ser suficiente para hacer saltar el vaso si es de una materia fragil. Echese sobre aceyte un ácido muy concentrado, como ácido nítrico muy desflemado, y la fermentacion podrá ser bastante viva para que se prenda fuego á la mezcla inmediatamente. Una mezcla de agua y de espíritu de vino se calienta tambien muy sensiblemente. Todos estos efectos son producidos por los rozamientos ocasionados por la penetracion mútua de las dos sustancias; por la razon de que los choques ó los rozamientos agitan las partículas de los cuerpos, como

Digitized by Google

tambien la materia del calor libre que está alojada en sus poros; cuyo movimiento aumenta la accion de esta materia del calor, la qual puede muy bien aumentarse ó disminuirse, pero nunca interrumpirse del todo. De aquí resulta el grado de calor que se siente; el que si es muy grande se verifica la combinacion con el oxígeno (1109), á lo que se sigue la combustion.

1112 La penetracion mútua de las dos sustancias de que acabamos de hablar (1111), está probada con la experiencia; por ser el volúmen despues de la mezcla menor que ántes. Si se mezcla un quartillo de agua y un quartillo de espíritu de vino, la mezcla no será suficiente para llenar un vaso de la capacidad de dos quartillos; luego hay penetracion de las dos sustancias, la una en los poros de la otra. (Véase *las Memorias de la Academia de las Ciencias*, *año de* 1733, *pág.* 165; y *año de* 1769, *pág.* 433).

1113 Hemos dicho ántes (1093), que el espíritu de vino echado sobre el yelo, le enfria al hacerle derretir; y acabamos de ver (1111), que el espíritu de vino mezclado con el agua la calienta; dos efectos que parecen opuestos, sin embargo de proceder de una misma causa, por ser la mezcla en uno y otro caso de dos mismas sustancias: la diferencia de estos dos efectos depende de muy poco; y es de que un grado mas ó ménos de calor hace que el agua sea líquido ó yelo; y de esta diferencia de estado proviene todo. En el uno y en el otro caso hay penetracion mutua de las dos sustancias; lo qual desaloja por un tiempo una porcion de la materia del calor libre, y causa el enfriamiento; y esta penetracion ocasiona rozamientos que excitan la accion de la materia del calor que queda, y eleva algunos grados la temperatura: luego aquí hay

Digitized by Google

dos efectos opuestos, de los quales no se percibe sino el exceso del mas fuerte sobre el mas débil. En el agua es muy pronta la penetracion; luego los rozamientos son entónces bastante vivos, para hacer mas que compensar la pérdida de la materia del calor; y en conseqüencia, el calor excitado por los rozamientos excede al enfriamiento causado por la ausencia del calórico. Al contrario, en el yelo la penetracion es lenta, como tambien los rozamientos, quienes por esta razon no producen sino poco efecto; luego el calor que excitan no es capaz de compensar el enfriamiento causado por la pérdida del calórico libre que ocasiona la penetracion. A mas, se necesita una cantidad muy grande de nuevo calórico, combinado con el yelo, para hacerle pasar al estado de líquido (1093, 1096); y he aquí por que en este caso no se percibe mas que el enfriamiento.

1114 La putrefaccion es tambien una verdadera fermentacion: todos los cuerpos que se pudren al combinarse con la base del ayre puro, se calientan tambien por el estado de libertad que toma su calórico. El heno encerrado ántes de estar seco, puede fermentar y calentarse hasta el punto de quemarse, y de pegar fuego á lo que se halle en sus inmediaciones.

1115 *Tercer medio.* Los rayos solares calientan todos los cuerpos que estan expuestos á su accion: estos rayos se hallan ciertamente compuestos de la materia del calor animada y puesta en accion por el sol (1097); luego esta materia se insinúa entre las partículas de los cuerpos, y aumenta la cantidad de ella que estos cuerpos contenian ya; de adonde resulta el grado de calor que se hace sentir.

1116 Este grado de calor es siempre muy infe-

Digitized by Google

rior al que se necesita para la combustion ; de modo que jamas se ha visto quemarse cuerpo alguno por haber estado expuesto solamente á los rayos del sol ; pero estos mismos rayos son capaces de fundir ó quemar los cuerpos fusibles ó combustibles , sobre los quales se les multiplique ó acumule ; lo qual puede hacerse de muchos modos.

1117 EXPERIMENTO. Recíbase los rayos solares sobre un gran número de espejillos planos , y diríjaseles sobre un mismo cuerpo : se observará que este cuerpo se calienta tanto mas , quanto mayor número de estos rayos se haga caer sobre él. Pero si se quiere multiplicarlos mas , es preciso hacer los experimentos siguientes.

1118 EXPERIMENTO. Preséntese á los rayos solares un espejo cóncavo , de modo que el plano del espejo esté perpendicular , lo mas que sea posible, á los rayos incidentes ; y se formará delante de este espejo un cono de luz muy viva. Mas adelante veremos la razon de esto (1259) al tratar de la catóptrica. Si se coloca en el vértice de este cono luminoso (punto que se llama *foco* del espejo), algunos cuerpos , se funden , queman , calcinan ó vitrifican muy prontamente , segun su naturaleza. La superficie de un espejo cóncavo está compuesta de líneas circulares ; pero un círculo es un polígono de una infinidad de lados ; luego la superficie de este espejo es un conjunto de espejos planos muy pequeños , insensiblemente inclinados entre sí ; de los que cada uno reflexa hácia un mismo punto los rayos que recibe , lo qual reune estas imágenes en un espacio muy pequeño ; y cuyo número es tanto mas grande , quanto mas extension tiene la superficie del espejo , y quanto mayor es su diámetro. Se concibe fácilmente que estas imágenes , multiplicadas así sobre un mismo cuerpo , pueden formar un foco bas-

Digitized by Google

tante ardiente para producir los efectos que hemos insinuado.

1119 EXPERIMENTO. Si se presenta á los rayos solares una lente convexâ de cristal, de modo que su exe prolongado sea paralelo, ó quasi paralelo, á los rayos incidentes, se forma detras de la lente un cono de luz muy viva, lo mismo que el que se forma en semejante caso, delante de un espejo cóncavo (1118), de lo que veremos la razon mas adelante (1353), al tratar de la dióptrica. Si se coloca en el vértice de este cono luminoso (punto que se llama *foco* de la lente) algunos cuerpos, padecen los mismos efectos que en el foco del espejo cóncavo (1118). De adonde se debe concluir, que de qualquier modo que se reunan los rayos solares, producen un calor tanto mas activo, quanto en mayor cantidad se hallan reunidos en un espacio mas pequeño.

1120 La actividad del foco de una lente es relativa, no solamente al número de rayos reunidos en un espacio dado, y por conseqüencia á la extension de la superficie de la lente, ó á la magnitud de su diámetro; sino tambien al modo con que se reunen estos rayos: porque si entre una lente y su foco, hácia la mitad ó los dos tercios de la longitud del exe del cono luminoso, se coloca otra segunda lente convexâ, la qual no dexará de hacer los rayos mas convergentes, se aumentará considerablemente la actividad de su foco, aun quando se hallen en él un número menor de rayos reunidos; ya que muchos quedan interceptados con las partes sólidas de la lente. De aquí se sigue que *el foco es tanto mas activo, quanto los ángulos que los rayos forman al reunirse son mas abiertos entre sí.* En efecto, manifiesta la experiencia que los rayos que pasan hácia las orillas de la lente, tienen su punto

Digitized by Google

de reunion mas cerca de ella, y forman entre sí ángulos mas abiertos, que los que forman los rayos que pasan hácia el exe; y que al mismo tiempo los de las orillas forman un foco mas activo que el que forman los otros. (Véase *las Memorias de la Academia de las Ciencias, año de* 1774, *pág.* 67.)

1121 Los efectos producidos sobre los cuerpos por una lente expuesta á los rayos solares, dependen únicamente de la transparencia y de la figura; luego todo cuerpo transparente que tenga la figura lenticular producirá los mismos efectos. Así, si á un pedazo de yelo formado de agua se le da una figura semejante, y se le expone á los rayos solares, formará detras de él un foco ardiente: un licor qualquiera, bien transparente, tal como el agua, el espíritu de vino, de aceyte, de trementina, &c. colocado entre dos casquetes esféricos de cristal produce los mismos efectos.

1122 Lo mismo se puede decir de los espejos cóncavos; cuyos efectos no dependen mas que de la figura y del pulimentado de la superficie; pues que se han hecho espejos de yeso, de carton y de paja, que han formado focos ardientes.

1123 Los rayos solares parece que no producen calor, sino quando obran sobre algunos determinados cuerpos: yo he colocado el dedo cerca del foco de la grande lente de *Trudaine*, que tiene 4 pies de diámetro; y no he sentido mas calor que el que hubiera sentido á una distancia de 20 pies: pero quando yo ponia algun cuerpo en este foco, se esparcia todo al rededor un calor tan vivo, que apénas le podia aguantar en la cara.

Se podria añadir un *quarto medio*, que es el de soplar el fuego con el ayre vital; cuyo calor es el mas activo que se puede producir.

Digitized by Google

Del modo con que se propaga la accion del fuego.

1124 La accion del fuego se propaga en los cuerpos de dos modos, 1.° no causando en ellos sino un ligero movimiento intestino, de adonde resulta un aumento de calor que separa unas de otras las partes del cuerpo calentado, á causa de que este cuerpo aumenta de volúmen (1132); luego este cuerpo se pone mas caliente que ántes, y adquiere mayor volúmen que el que tenia, en virtud del calor que se le ha comunicado. Tal es, por exemplo, un pedazo de metal ó una piedra expuestos cerca del fuego, ó á los rayos solares. 2.° Esta accion del fuego agita de tal modo la materia propia del cuerpo que está expuesto á ella, que desune sus moléculas, y por lo regular se las lleva y disipa, como sucede con un pedazo de madera quando se le pone sobre algunos carbones encendidos.

1125 Quando no hay mas que comunicacion de calor, parece que todo sucede conformemente á las leyes conocidas: el calor que adquiere un cuerpo le pierde el que le comunica: el cuerpo que le adquiere se vuelve mas caliente que ántes, y el que le comunica se queda ménos caliente; y esta variacion continúa verificándose, si se les da tiempo para ello, hasta que los dos cuerpos llegan á tener una temperatura igual, la qual es siempre mas grande que lo que era la del cuerpo que adquirió el calor; pero tambien es siempre menor que lo que era la del cuerpo que le ha comunicado. De este mismo modo es como un cuerpo á quien se le ha dado una cierta cantidad de movimiento pierde siempre cada vez mas de él, á proporcion que le comunica á una cantidad de materia mas grande (141).

Digitized by Google

1126 No sucede lo mismo quando el calor llega hasta el grado de la combustion; pues entónces se propaga con aumento la accion del fuego; y sus efectos van siendo siempre cada vez mas grandes, á proporcion que obra sobre una mayor cantidad de materia: en una palabra, una chispa suele convertirse á veces en un incendio. Segun lo que hemos dicho, es fácil el dar razon de este singular fenómeno.

1127 El calórico combinado con una sustancia qualquiera, no hace sentir calor ninguno (588), pero el calor llega á ser tanto mas grande, y sus efectos tanto mas rápidos, quanto mayor es la cantidad de calórico que toma el estado de libertad (1104). Veamos pues de adonde proviene esta grande cantidad de calórico libre en la combustion de los cuerpos. Los cuerpos no pueden arder á ménos que no esten en contacto con el ayre puro (664); á causa de que la combustion consiste en la combinacion de la base de este ayre, llamada *oxígeno*, con el cuerpo combustible (653). Pero el ayre puro contiene una grande cantidad de calórico combinada con su base el oxígeno (647 y 662); luego quando su oxígeno se combina con el cuerpo que arde, toma su calórico el estado de libertad, y se reune al que habia ocasionado ya el principio de la combustion. De aquí resulta un aumento de calor, que dispone un mayor número de partículas del cuerpo combustible para combinarse con el oxígeno producido por el ayre que se renueva; á causa de que cesa la combustion si esta renovacion del ayre no se verifica (643 y 653). Al combinarse este nuevo oxígeno con el cuerpo combustible, abandona igualmente su calórico, el qual, al tomar el estado de libertad, se escapa con los caracteres que le distinguen, es decir, con calor, luz y llama; y quanto mas oxígeno tenga así

Digitized by Google

combinado, y fixado en un tiempo dado, mas calórico tendrá tambien, que tomará á un tiempo el estado de libertad; y mas brillante y rápida será por conseqüencia la combustion. Ahora es fácil el ver por que se hacen siempre con aumento los progresos de la inflamacion.

1128 Luego en toda combustion hay ayre puro descompuesto, calórico desprendido y reducido al estado de libertad, y por conseqüencia calor producido; pero un calor mas ó ménos grande, segun la naturaleza del cuerpo que arde. Porque segun los experimentos de *Lavoisier y de la Place* (*Memorias de la Academia de las Ciencias, año de* 1780, *pág.* 397), una onza de carbon consume al quemarse 4037,5 pulgadas cúbicas de ayre puro, y forma 3021,1 pulgadas cúbicas de gas ácido carbónico. Luego esta onza de carbon consume 3 onzas, 4 dracmas y 2,7500 granos de ayre puro (656); y forma 3 onzas, 5 dracmas y 11,6645 granos de gas ácido carbónico (757): de adonde se sigue que una onza de carbon produce 1 dracma y 8,9145 granos de carbono, ó un poco ménos de $\frac{1}{7}$ de su peso. Pero como la combinacion de la base del ayre puro, ó del oxígeno, con el carbono forma aquí un nuevo fluido elástico, al combinarse con una parte del calórico, sucede que hay poco calor producido; en lugar de que el calor que se desprende del ayre puro, quando su base se combina con el fósforo que arde, es poco mas ó ménos 2½ veces tan grande como quando este ayre puro se convierte en gas ácido carbónico; porque en el primer caso puede derretir este calor 68 onzas y cerca de 5 dracmas de yelo; y en el segundo caso, no puede derretir sino 29 onzas y 4 dracmas.

1129 Luego los cuerpos combustibles son los que

Digitized by Google

tienen mas afinidad con el oxígeno, que la que tiene este último con la materia del calor ó el calórico; y quanto mas grande es esta afinidad ó esta disposicion á combinarse con el oxígeno, mas combustibles son los cuerpos: luego el calórico que está combinado con ellos no es, como se habia creido, el que los hace que sean combustibles; siendo aun probable que los cuerpos mas combustibles contienen muy poco calórico, ó tal vez nada, tales como el azufre y el fósforo.

1130 Una reflexion que admira, dice *Lavoisier* (*Memorias de la Academia de las Ciencias, año de* 1777, *pág.* 598), y que apoya las precedentes, es la de que quasi todos los cuerpos pueden existir en tres estados diferentes, esto es, baxo la forma de sólidos, líquidos, es decir, fundidos, ó baxo la forma de fluidos elásticos; cuyos tres estados no dependen mas que de la cantidad mas ó ménos grande de calórico de que estos cuerpos estan penetrados, y con la qual estan combinados. Luego la fluidez y la elasticidad son las propiedades caractérísticas de la presencia del calórico y de una grande abundancia de él; y al contrario la solidez y la compacidad son las pruebas de su ausencia. Luego tanto como está probado que las sustancias aëriformes, y el mismo ayre, contienen una grande cantidad de calórico combinado, tanto es probable que los cuerpos sólidos contienen poco.

De los efectos del fuego sobre los cuerpos.

1131 Los principales efectos del fuego sobre los cuerpos consisten, 1.° en enrarecerlos; 2.° en hacerles pasar del estado de sólidos al de fluidos; y 3.° en convertirles en vapores.

1132 *Primer efecto.* La primera variacion que se

Digitized by Google

verifica en un cuerpo expuesto á la accion de la materia del calor, es la rarefaccion de su masa, y el aumento de su volúmen; cuyo efecto es tan general que puede ser mirado como el carácter distintivo del fuego ó del calor. Es verdad que hay ciertas sustancias que penetran á otras sustancias, y que al mismo tiempo las enrarecen; pero no hay mas que la materia del calor que se insinue, sin excepcion alguna, en todos los cuerpos, y que, si su accion es continua, concluya desuniendo sus partes.

1133 EXPERIMENTO. Tómese una esfera de cristal colocada á la extremidad de un tubo, y llenésela de agua, como tambien á una parte de la longitud del tubo, cuyo punto de él hasta donde llegue el agua se señalará con un hilo. Sumérjase esta esfera, que deberá ser delgada, en agua quasi hirviendo; y se observará que en el momento de la inmersion de la esfera baxa el agua del tubo algunas líneas por baxo del punto señalado; y si en el momento despues se la saca del agua caliente, se elevará la misma agua por cima del punto señalado en el tubo. La materia del calor tiende á esparcirse uniformemente por todas partes (1100): luego pasa del agua caliente á la esfera de cristal y al agua que contiene, lo qual enrarece la una y la otra. Es bastante evidente que el agua de la esfera no está condensada, sino que al contrario está enrarecida, pues que se eleva por cima del punto señalado en el tubo. Luego el descenso del agua por baxo de este punto, en el primer momento de la inmersion, no puede ser atribuido á la condensacion del agua: se debe pues al aumento de la capacidad de la esfera; luego el cristal se enrarece tambien. Comienza el agua á descender ántes de subir, por la razon de que estando la esfera en contacto inmediato con el agua caliente, es la primera á quien

Digitized by Google

penetra la materia del calor; luego el aumento de su capacidad precede á la rarefaccion del agua que contiene; y he aquí porque este agua comienza baxándose por debaxo del punto señalado en el tubo.

1134 He dicho (1133) que la esfera de cristal de este experimento debe ser delgada; por la razon de que si fuese de un cierto grueso, su superficie exterior, que toca inmediatamente al agua caliente, se dilataria ántes que la interior, y la esfera se romperia. Esto es lo que sucede con todos los vasos de cristal grueso que se calienta con prontitud, así como á los que no se calienta mas que por un solo lado, á ménos que no se haga esto lentamente; en cuyo caso tiene la materia del calor tiempo para pasar de un lado á otro, y para distribuirse en toda la extension del vaso de un modo bastante uniforme. Del mismo modo se romperian los vasos frágiles, si estando muy calientes no se les enfriase mas que en un solo sitio; por la razon de que no pudiendo entónces contribuir todas las partes al mismo efecto, se habrian de romper necesariamente.

1135 EXPERIMENTO. Los metales, cuya mayor parte tienen mucha dureza y tenacidad, se enrarecen todos, y aumentan de volúmen quando se les calienta. Si se quiere observar este efecto, por pequeño que sea, es preciso hacer los experimentos siguientes, para los quales se echará mano del *pirómetro* (*fig.* 136), instrumento destinado para medir la rarefaccion de los cuerpos por la accion del calor. Está compuesto 1.° de una especie de velon con espíritu de vino *a b*, en el qual habrá quatro torcidas de algodon, semejantes entre sí en grueso y longitud; 2.° de unas palancas encerradas en una caxa cilíndrica de cristal *c d*, y que se corresponden de modo que recibiendo el movimiento de la pieza *e*, le transmiten por medio de una porcion de

Digitized by Google

rueda dentada ó rastrillo, y por un piñon, á una aguja *f g* que corre horizontalmente un círculo dividido en 200 partes iguales. Los brazos de estas palancas y el radio del rastrillo con el piñon que lleva, estan proporcionados de tal modo, que avanzando la pieza *e* un quarto de línea, hace dar á la aguja *f g* una vuelta entera; y como la circunferencia del círculo que corre está dividida en 200 grados, de los que cada uno es bastante grande para ser dividido, á ojo, en dos por un observador un poco atento, es evidente que no se puede dilatar la pieza *e* la 1600ª parte de una línea, sin que se note por el movimiento de la aguja. Se necesita tener cuidado de proporcionarse cilindros de diferentes metales, todos iguales en longitud, y cuyos gruesos se hará tambien que sean iguales pasándoles por una misma terraja. Cada uno de estos cilindros debe estar terminado de un lado por un tornillo que se ajusta á la pieza *e*, en tanto que el otro extremo está sostenido por el pilar *b*, al que se le asegura por medio de la llavecilla *i*. Si se coloca en esta máquina sucesivamente los diferentes cilindros, y se enciende las torcidas, todos se prolongan mas ó ménos desde los primeros grados de calor; lo qual prueba el movimiento de la aguja *f g*; luego todos se enrarecen por esta causa.

1136 Si se quiere comparar los diversos grados de rarefaccion de los diferentes metales, se los calentará á todos sucesivamente durante tiempos iguales, y con las mismas torcidas; y el número de grados que correrá la aguja en cada uno, determinará la relacion de su rarefaccion con la de los demas: se verá, por exemplo (como lo ha probado *Berthoud*, famoso reloxero), que la del laton es á la del acero como 121 es á 74. Se hace uso ventajosamente de esta diferencia para corregir el efecto del calor

Digitized by Google

sobre las varetas de los péndulos; combinando las hechas con estos dos metales, de modo que sus longitudes esten en razon inversa de sus prolongaciones (269); como lo han hecho *Julien le Roi* en París, y *Hellicot* en Londres. (*Véase* mi *Diccionario de Física* á la palabra *péndulo.*)

1137 Pues que los diferentes metales se prolongan cantidades diferentes con un mismo grado de calor (1136), se sigue que para que guardasen relaciones constantes los instrumentos de matemáticas, de astronomía, &c. no se los deberia construir de metales diferentes, como se hace comunmente.

1138 Por la misma razon se destempla un clavicordio ó fortepiano, quando el sitio en que estan colocados varía de temperatura; lo qual proviene de que sus cuerdas son las unas de hierro, las otras de laton, dos metales que se prolongan cantidades diferentes con el mismo grado de calor.

1139 Los líquidos se enrarecen del mismo modo que los sólidos, calentándose; los que empleamos en nuestros termómetros, nos dan la prueba de esto; á causa de que el calor no hace subir el termómetro, sino porque hace aumentar el volúmen del líquido que le compone. La causa de este efecto es siempre la accion de la materia del calor, que penetra la masa, y desune y desvia sus partes.

1140 La rarefaccion de los fluidos es mas ó ménos grande, mas ó ménos pronta, segun sus diferentes naturalezas. Por lo que respecta á la extension de esta rarefaccion, parece que los fluidos que tienen ménos densidad son los que se enrarecen mas con el mismo grado de calor. El gas hidrógeno se enrarece mas que el ayre; el ayre, mas que el espíritu de vino; el espíritu de vino, mas que el aceyte de linaza; el aceyte de linaza, mas que el agua; y el agua, mas que el mercurio. Pero si se hace aten-

Digitized by Google

cion al tiempo necesario á cada fluído para adquirir toda la rarefaccion de que es susceptible, no se halla que esto siga ley alguna conocida: el mercurio, aunque mucho mas denso que el agua, emplea mucho ménos tiempo; el agua, mas densa que el espíritu de vino, emplea mas tiempo; el agua, mas densa que el aceyte de linaza, emplea ménos tiempo; el aceyte de linaza, mas denso que el espíritu de vino, emplea mas tiempo; todo lo qual depende sin duda de diferentes causas particulares que seria dificil conocer. A mas, las cantidades de rarefaccion de diferentes fluidos, no guardan entre sí las mismas relaciones con diferentes grados de calor; por exemplo, la razon de la rarefaccion del espíritu de vino, comparada con la del mercurio, es menor en los grados inferiores que en los superiores: comenzando desde el término de la congelacion, 5,0 grados de rarefaccion del mercurio no corresponden mas que á 3,9 grados de rarefaccion del espíritu de vino; y cerca de la temperatura del agua hirviendo, 5,0 grados del mercurio corresponden á 6,2 grados del espíritu de vino. Los termómetros se construyen con los fluidos ó licores; cuya rarefaccion y condensacion de estas sustancias son las que indican los diferentes grados de calor. Se puede ver la descripcion de la mayor parte de los que se han inventado, en mi *Diccionario de Física* á la palabra *Termómetro*.

1141 *Segundo efecto.* Quando la rarefaccion (*primer efecto*) ha sido llevada hasta su último periodo, conservan aun sin embargo las partes del cuerpo alguna adherencia entre sí, y si el calor continua obrando, pasa el cuerpo al estado de liquefaccion ó de fluidez, mas ó ménos completa, segun la naturaleza del cuerpo que se calienta, y segun el grado de actividad del fuego que obra. Esto es lo que

Digitized by Google

sucede con la manteca, cera, metales, &c. que se calientan mucho, pues que pasan del estado de sólidos al de líquidos; ó con las piedras que se calcina, las quales se reducen á un polvo impalpable; y de sólidas que eran ántes se vuelven fluidas.

1142. Este efecto es mas ó ménos pronto, segun la naturaleza del cuerpo que se calienta: no se funden todos los cuerpos tan prontamente los unos como los otros, ni á un mismo grado de calor: para derretir la cera se necesita un grado mas grande que para derretir la manteca: aun mas grande se necesita para fundir los metales, exígiendo los unos grados mas grandes que los otros: el estaño y el plomo se funden mucho tiempo ántes de enroxecerse: la plata y el oro se funden poco mas ó ménos en el momento en que se enroxecen; y el cobre y el hierro estan enroxecidos mucho tiempo ántes de fundirse.

1143 La accion del calor produce un efecto tanto mas grande, quanto mas grande es la resistencia que padece, y quanto mas retardada es. Si la naturaleza del cuerpo que se calienta es de ceder á la primera accion del calor, pierden su adherencia las partes de la superficie, y se liquidan aun ántes que las interiores hayan tenido el tiempo de calentarse: así, de capa en capa se va fundiendo la masa del cuerpo, como sucede con la cera ó la manteca; ó bien se disipan estas partes en humo y en llama, como un leño que arde en su superficie, en tanto que su centro está aun quasi frio. Pero si las partes de la superficie tienen bastante fixedad, si resisten mucho tiempo y el necesario para dar á las partes internas lugar de calentarse, debe verificarse la rotura de su adherencia quasi á un mismo tiempo por todas partes, y la fusion llega á ser general al cabo de poco rato; que es lo que sucede á los

Digitized by Google

metales que se funden. Tampoco las madetas arden sino sucesivamente; la cera y las grasas no se funden mas que poco á poco; pero los metales, al principio mas dificiles de fundir, se liquidan tambien mas prontamente y mas completamente, quando han adquirido el grado de calor necesario. Para convencerse de esto, es preciso hacer el experimento siguiente.

EXPERIMENTO. Teniendo prevenidas dos vasijas en todo semejantes y colocadas sobre un mismo fuego, échese en una una libra de cera, y en la otra una libra de estaño, y no se las remueva de modo alguno: se observará que la cera se irá fundiendo sucesivamente y poco á poco; y que el estaño estará largo tiempo sin variar de estado aparente; pero apénas habrá comenzado á liquidarse, tardará muy poco tiempo en hallarse fundido perfectamente, y entónces quedará aun un pedazo de la cera en el estado sólido. De modo que aunque el estaño no comienza á fundirse sino mucho tiempo despues de la cera, se halla no obstante enteramente fundido ántes que ella. En una palabra, los aceytes grasos se inflaman mas dificilmente que el espíritu de vino; pero su combustion produce un grado de calor mucho mas considerable: una misma carga de pólvora que se inflama al ayre libre, no produce sino un esfuerzo muy inferior al que es capaz de producir en un cañon.

1144 Los metales se funden mas fácilmente, ó á un grado menor de calor, aleándolos con otra sustancia: las soldaduras fuertes son aligaciones de esta naturaleza, las quales se funden á un grado menor de calor que el que seria necesario para fundir las piezas que se quiere reunir. El laton, que es una aligacion de cobre y de zinc, sirve de soldadura para el cobre: la plata aleada con el cobre, sirve de

Digitized by Google

soldadura para la plata; y así de los demas. La fundicion de hierro y acero, que es hierro aleado con una sustancia carbonosa (868), se funde á un grado de calor menor que el que necesita para ello el hierro puro.

1145 *Tercer efecto.* Una materia liquidada por la accion del calor (*segundo efecto*), continua calentándose hasta la ebullicion, si su naturaleza es de bullir; despues de lo qual no se calienta mas por mucho tiempo que se la tenga en este estado; pero su masa se va convirtiendo en vapores, tanto mas fácilmente quanto ménos cargada está del peso del ayre: el agua puesta en el vacío se evapora á un grado muy pequeño de calor.

1146 La ebullicion de los licores consiste en la elevacion de una parte del licor, ocasionada *por* unas bolas gruesas de un fluido muy transparente, que se suceden rápidamente, atravesando el licor desde el sitio expuesto al fuego hasta su superficie; pues que estas bolas no comienzan ó salen nunca mas que de este sitio. ¿Qué es pues este fluido? ¿Es la materia del calor? Es muy cierto que los licores no bullen sin calor; pero tambien es cierto que la materia del calor sola no basta para hacerles bullir, pues que muchas sustancias no bullen jamas por muy fuertemente que se las caliente. Luego es preciso que estas bolas esten compuestas de otro fluido; el qual es ciertamente una porcion del licor reducido en vapores, por el grande calor que sufre: del mismo modo que una gota de agua echada sobre un hierro caliente se evapora con prontitud, formando muchos globulillos de vapor, que si estuvieran cubiertos de agua caliente, en lugar de reventarse, se introducirian en el licor y le levantarian. La prueba de que este fluido es una porcion del mismo licor reducido en vapores, está en

Digitized by Google

que los metales fundidos no bullen jamas, á causa de que no se evaporan mas que en su superficie, y de que estos vapores, que tienden siempre á elevarse, no pueden atravesar la masa. Y no se diga que es su pesantéz la que se opone á su elevacion; porque el mercurio, que es mas pesado que todos los metales, excepto el oro y el platino, bulle como el agua, por reducirse en vapores en su parte baxa y en el sitio expuesto al fuego. Pero estos mismos metales, que solos no pueden bullir, bullen muy fuertemente, si se mete en ellos alguna sustancia capaz de producir vapores, como, por exemplo, un pedazo de madera. Luego la ebullicion no es solamente el efecto del calor, sino tambien el de un vapor que atraviesa y levanta el licor. Así, la accion de la materia del calor reduce en vapor una porcion del líquido; y este vapor, levantando el licor, es el que causa la ebullicion.

No bullen todos los licores á un mismo grado de calor; el espíritu de vino bulle

á..... 66,6 grados del termómetro ordinario,
ó á..... 181,85 grados del termómetro de Farenheit;
el agua á..... 80 grados del termómetro ordinario,
ó á..... 212 grados del termómetro de Farenheit;
el mercurio á. 252,44 grados del termómetro ordinario,
ó á..... 600 grados del termómetro de Farenheit.

1147 Acabamos de decir (1145) que los licores no se calientan mas, luego que han llegado al término de la ebullicion; y es la razon el que entónces está enrarecida la masa lo suficiente para que la materia del calor pueda salir con la misma libertad

Digitized by Google

que entra; de modo que su cantidad no puede aumentar mas. Luego la ebullicion es el último término de la liquidez, pues que entónces el fuego no divide mas el licor. Hay tambien ebullicion siempre que se forman vapores interiores, como en los licores que fermentan. La manteca y las grasas bullen prontamente, y con ruido, si se halla entre ellas algunas partes aquosas, las que reduciéndose en vapores á un grado menor de calor que estas materias grasientas, las arrojan delante de sí, con gran daño de los que se hallan presentes.

1148 Pues que la ebullicion es causada por una porcion del licor reducido en vapores (1146), que atravesando la masa se disipan, y pasan al ayre; si se continúa haciendo bullir este licor, se evaporarán todas sus partes sucesivamente, y hasta la *se*quedad. Esto es lo que forma los fluidos elásticos no permanentes, de que hemos hablado ántes (589).

1149 Pero si la disipacion de una sustancia es súbita, evaporándose todas sus partes á un mismo tiempo, causa una explosion violenta, por la razon de que pasando al estado de fluido elástico, adquiere un volúmen prodigioso en comparacion del que tenia ántes (1064). Esto es lo que sucede en la inflamacion de la pólvora, así como en la fulminacion de la pólvora fulminante, y del oro y de la plata fulminantes. Si se hace estos experimentos de fulminacion, se necesita mantenerse á alguna distancia, y tomar todas las precauciones necesarias para no recibir daño alguno, sobre todo si se hace uso de la plata fulminante, descubierta recientemente por *Bertholet*, de la Academia de las Ciencias, y con la qual no se pueden comparar todas las demas sustancias fulminantes. Para hacer fulminar la pólvora se necesita el contacto de un cuerpo encendido: al oro fulminante, es preciso hacerle tomar un grado de

Digitized by Google

calor sensible para que fulmine, en tanto que el contacto de un cuerpo qualquiera, aun frio, y por pequeño que sea, basta para hacer detonar la plata fulminante. En fin, este producto, una vez obtenido, no puede ser tocado sin fulminar: es un sér verdaderamente impalpable.

1150 Es fácil de ver, por lo que acabamos de decir (1131 *y siguientes*), que los efectos del fuego sobre los cuerpos, que hemos asignado ser en número de tres, pueden reducirse á uno solo; á saber, á enrarecerlos; porque la liquefaccion, ó la fluidez no es otra cosa que una rarefaccion mas grande que la que resulta de un grado de calor insuficiente para romper la adherencia de las partes; y la evaporacion no es mas que una rarefaccion llevada hasta su extremo grado.

De los medios de aumentar ó de disminuir la accion del fuego.

1151 Hay quatro medios por los quales se puede aumentar la accion, ó los efectos de un mismo fuego, mantenido con la misma materia. Estos medios son, 1.° aumentar la cantidad de materia que le sirve de alimento; 2.° concentrar esta accion, ó estorbar el que se extienda y disipe en un espacio demasiado grande; 3.° dirigir esta accion hácia un mismo sitio; y 4.° soplar este fuego con ayre puro.

1152 *Primer medio.* Está tan usado este primer medio, que no hay necesidad de probarle: todos saben que añadiendo leña ó carbon á un fuego ya encendido, aumenta su accion. Sin embargo, se necesita que la cantidad de materia añadida encuentre un fuego proporcionado á su grado de inflamabilidad y á su volúmen; pues que una porcion de leña verde, ó un tronco grueso, añadido á un fuego pequeño,

Digitized by Google

no hará mas que ennegrecerse; pero si esta leña está bien seca, y dividida en partes pequeñas, se quema al instante. Un cuerpo no puede quemarse sino combinándose con el oxígeno (1109); y esta combinacion no puede verificarse mas que por medio de un cierto grado de calor; de modo que si el fuego es pequeño, y el cuerpo de un volúmen grande, ó está empapado en agua, se apaga el fuego ántes que el cuerpo haya tenido tiempo para calentarse bastante. Por la misma razon se apaga una vela encendida, que se vuelve hácia abaxo, á causa de que derretida la sustancia de que se compone, corre por la torcida ántes de haber adquirido el grado de calor necesario para su combustion.

1153 *Segundo medio.* Este segundo medio es el concentrar la accion del fuego, ó impedirla el que se extienda, y disipe en un espacio demasiado grande; que es propiamente lo que hacen los químicos, por medio de sus hornos. El fuego así encerrado, viene á ser como el centro de una esfera de actividad, cuyos rayos van á herir las paredes del horno; pero reflexados hácia el medio, y hallándose allí su accion como concentrada, obra con otra tanta mas fuerza.

1154 Pueden mirarse las estufas como unas especies de hornos, en los quales se aplica el calor á un tiempo á un gran número de cuerpos. En estufas de esta especie es en donde secan los operarios sus barnices grasientos.

1155 Una mampara puesta delante de una chimenea hace tambien, en alguna manera, el oficio de horno; porque no solamente libra del ayre frio que puede entrar por las puertas y las ventanas, sino que tambien reflexa los rayos de calor, y les impide el que se extiendan y disipen demasiado.

1156 *Tercer medio.* Este tercer medio consiste en

Digitized by Google

dirigir hácia un mismo sitio la accion del fuego ó las partes ya encendidas que se exhalan: esto es lo que hacen los plateros, los diamantistas, los esmaltadores, &c. con su lámpara y su soplete. Dirigida así esta llama, llega á ser activa hasta el punto de fundir el cristal, el esmalte y los metales; á causa de que el ayre que se sopla introduce en la llama el fluido propio para la combustion. Por este medio se obtienen dos ventajas; la una el excitar un grado grande de calor; y la otra el no calentar mas que el sitio que se quiere.

1157 *Quarto medio.* Este medio es el de soplar el fuego con el ayre puro: no se conoce fuego alguno tan activo como el que resulta por este medio. *Lavoisier*, que ha hecho sobre este punto una serie de excelentes experimentos (Véase *Memorias de la Academia, año de* 1782, *pág.* 476 *y siguientes, año de* 1783, *pág.* 566 *y siguientes*), no ha encontrado quasi sustancia alguna que no ceda á la accion de este fuego violento. Lo mas que se consigue con el platino es el ablandarle un poco, mediante la accion del espejo ustorio (que produce mas calor que ningun horno de los químicos); pero calentado por un fuego soplado con ayre puro, se funde completamente. Los rubies orientales, que no sufren alteracion ninguna al calor del espejo ustorio, expuestos á la accion del fuego soplado con el ayre puro, se ablandan hasta el punto de soldarse muchos juntos: sin embargo conservan su color, aunque ménos perfecto; y no pierden nada ó quasi nada de su peso.

1158 Acabamos de ver (1151 *y siguientes*) quales son los medios de aumentar la accion del fuego. Si se quiere disminuir esta, es suficiente el suprimir los medios por los quales él aumenta; cuya supresion es la causa mas freqüente de la disminucion,

Digitized by Google

y aun de la extincion del fuego. El de una estufa ó de una chimenea da ménos calor si le falta la leña; y aun se debilita muy á menudo, aunque no le falte esta, si no se tiene cuidado de soplarle.

1159 Pero esta extincion del fuego no se hace sino muy lentamente; y hay algunos casos en que es interesante el que se verifique mas apriesa. Se sabe que no hay cosa ninguna que arda sin el contacto del ayre (664); luego basta para producir la privacion de ayre necesario, el aplicar á la superficie del cuerpo encendido una materia que no sea combustible, como el agua por exemplo; cuyo medio es el que se emplea por lo comun para apagar los incendios. Pero es preciso para esto, que pueda permanecer el agua en el estado de líquido mas tiempo que el que puede durar la combustion, motivo por el qual es preciso echar mucha; porque *si* no se echa mas que una corta cantidad de agua sobre un grande fuego, teniendo que sufrir este agua un grado de calor mas violento que el que puede sostener al ayre libre, se descompone: su oxígeno (815) se combina con el cuerpo que arde, y su hidrógeno, combinándose con el calórico, forma un gas inflamable que se enciende inmediatamente, y aumenta mucho la actividad de la llama.

Del enfriamiento.

1160 Hemos hecho ver (1152) que aumenta la inflamacion quando el cuerpo encendido se halla unido á una cantidad proporcionada de materia capaz de encenderse tambien; á causa de que entónces se desprende calórico combinado cada vez mas, y toma el estado de libertad (1126 y 1127). El calor al contrario no se comunica sin debilitarse (1125); por la razon de que en este caso no hay nuevo caló-

Digitized by Google

rico alguno desprendido; y el que estaba ya libre no hace mas que extenderse en un espacio mas grande, con lo qual se vuelve mas raro en el cuerpo que comunica el calor, á cuya disminucion de calórico en este cuerpo se le da el nombre de *enfriamiento*.

1161. Así como los cuerpos se calientan mas prontamente los unos que los otros (1140), así tambien no se enfrian igualmente en un tiempo dado; cuya ley, segun la qual se executa esto, no se conoce bien aun. Sin embargo, se puede decir, en general, que *el calor se comunica en razon de las masas*; y esta es la causa de que se sienta mas frio en las manos quando se toca mármol ó metal durante el invierno, que quando se toca madera ó algunas telas, que son ménos densas, aun quando la temperatura de todos estos cuerpos sea la misma; por no consistir el enfriamiento de la mano sino en la pérdida que hace de una parte de su calórico, comunicándole al cuerpo que toca, cuya comunicacion es proporcional, sobre corta diferencia, á la densidad del cuerpo tocado.

1162. Pero quando las materias que se tocan ó se mezclan, son de una misma naturaleza, *el exceso de calor de la mas caliente se comunica con la ménos caliente en razon de los vallímenes*. Si se mezcla dos quartillos de agua, cuya temperatura del uno sea de 20 grados, y la del otro de 50, la temperatura de la mezcla será de 35 grados; á saber, 20 grados de calor comun, y á mas 15 grados mitad de 30, exceso de 50 sobre 20. Si con un quartillo de agua caliente hasta los 40 grados, se mezclan dos quartillos que lo estén á 10 grados, será el calor de la mezcla de 20 grados; porque los 30 grados, exceso entre 40 y 10, se repartirán entre los tres quartillos, los quales tienen cada uno 10 grados de

calor comun. Se hallará tambien qual debe ser la temperatura de la mezcla, adicionando todos los grados de calor, y dividiendo la suma por el número de volúmenes; cuyo quociente de esta division dará la temperatura que se busca. Así, 40+10+10=60, que divididos por 3 dan 20. Del mismo modo en el primer exemplo, 20+50=70, que divididos por 2 dan 35.

1163 Los cuerpos calientes comunican una parte de su calórico á los cuerpos que estan ménos calientes que ellos, y á los quales tocan (1160); en lo que se ve la razon de que la nieve se deshaga enfriando las botellas. Pero este enfriamiento es mucho mas considerable que el que señalan las reglas establecidas arriba (1161 y 1162); por el motivo de que en este caso hay una grande cantidad de calórico combinado con el yelo, para hacerle pasar *al* estado de líquido (1096); y como el calórico combinado no excita grado ninguno de calor sensible, (588), no calienta por conseqüencia el agua que proviene del yelo, aun quando la pérdida de calor que tienen las botellas, las enfrie. Luego hay entónces algun calor que se pierde (1106).

1164 El ayre frio que toca á cuerpos mas calientes que él, recibe pues una porcion de su calórico; con lo que disminuye tanto mas su calor quanto mas á menudo se renueva. Este es el motivo de que sintamos mas frio quando estamos expuestos al viento, que quando estamos al abrigo de *él*.

1165 No siendo el enfriamiento otra cosa mas que una disminucion de calor, se debe ver cesar en un cuerpo que se enfria, todos los efectos del fuego de que hemos hablado (1131). 1.° Lo que era llama, no debe ser mas que humo espeso; y la evaporacion se disminuye, y aun cesa enteramente; 2.° las materias liquidadas se hacen ménos líquidas, y

Digitized by Google

vuelven á tomar en seguida su primer consistencia; 3.° el volúmen aumentado por la rarefaccion se comprime en unos límites mas estrechos.

1166 Quando todo esto se hace lentamente, se acercan las partes proporcionalmente y en su órden natural : la masa vuelve á tomar su primer estado, quedándose lo mismo que estaba ántes de que sufriese la accion del fuego ; sobre todo, si esta accion no le ha quitado ninguno de sus principios. Esto es lo que sucede con el oro que se ha fundido, y dexado enfriar despues ; pues que se vuelve á quedar lo mismo que estaba ántes de su fusion, conservando toda su densidad.

1167 Pero un enfriamiento demasiado pronto tiene algunas veces efectos muy diferentes; porque disminuyendo con prontitud la movilidad respectiva de las partes, las fixa ántes que hayan podido colocarse en el órden que les conviene ; y como estas partes no se tocan sino imperfectamente, no toma el cuerpo mas que una consistencia incompleta. Esto es lo que sucede con el acero quando se le templa, en cuyo caso es mas quebradizo, y su densidad menor que lo que era ántes (37). Lo mismo sucede con los vasos de cristal que no tienen un grueso igual por todas partes, y á quienes se ha dexado enfriar con mucha prontitud; pues que sus partes no se adhieren entónces entre sí sino muy debilmente; no debiendo maravillar el que freqüentemente se rompan estos vasos por sí mismos, y sin haber recibido golpe alguno. Para prevenir este inconveniente, despues de fabricados, se les da el *recocido* ; es decir, que se los mete en un horno caliente hasta un cierto punto, en donde se les dexa enfriar muy lentamente. Se modera del mismo modo por el recocido (37) la propiedad demasiado quebradiza del acero.

Digitized by Google

1168 No conocemos cuerpo alguno absolutamente frio: un tal cuerpo seria aquel que no contuviese ningun calórico en el estado de libertad; pero no se ha encontrado jamas ninguno de esta especie. El cero del calor no se conoce; luego no es el frio mas que un calor menor; y por conseqüencia no es una qualidad positiva, sino solamente relativa: un cuerpo está frio comparándole con otro cuerpo que parece caliente con respecto á otro tercero: si se mete un termómetro en el yelo, desciende su líquido si ántes se hallaba este instrumento en un ayre templado; y sube si se le saca de una mezcla de sal y de yelo (1092). Los subterráneos estan calientes en invierno y frios en verano, no obstante ser su temperatura la misma, sobre corta diferencia, en todas las estaciones; lo qual proviene de que quando descendemos á ellos en invierno salimos de un ayre frio, y en verano salimos de un ayre caliente. Aun es posible que una misma persona encuentre la misma sustancia caliente y fria á un tiempo: para convencerse de esto hagase de modo que una de las manos esté bien fria, y la otra bien caliente; y métase las dos en agua algo fria: se observará que el agua parece caliente quando se mete la mano fria, y fria quando se mete la mano caliente.

1169 *Todo cuerpo de encima del qual se evapora un fluido, se enfria, y tanto mas quanto mas pronta sea la evaporacion de este fluido.*

Experimento. Llénese de agua una bola delgada de termómetro, y una parte de su tubo: sumérjase esta bola en el agua, y al retirarla de ella agítesela en el ayre, con lo qual se verificará la evaporacion; el agua baxará en el tubo, enfriándose; y repitiendo muchas veces de seguida la misma operacion, se conseguirá con un poco de paciencia el hacer

Digitized by Google

helar el agua de la bola: luego *la evaporacion enfria los cuerpos.* Si en lugar de meter esta bola en el agua se la mete en el espíritu de vino, ó mejor aun en el éter, siendo mas pronta la evaporacion, será mas grande el enfriamiento; y el agua se helará mas prontamente: luego, &c.

1170 Está la razon de este enfriamiento en que una sustancia no puede pasar al estado de vapor, sin combinarse con una muy grande cantidad de calórico (1060); de cuya cantidad, una porcion es la que pierde con este motivo el cuerpo de encima del qual se evapora la sustancia; y esta falta de calórico ocasiona su enfriamiento. He aquí porque se siente frio al salir del baño, hasta enjugarse bien, aun quando el ayre en que se esté se halle mas caliente que el baño. Los cazadores y los soldados saben aprovecharse de este medio de enfriamiento enmedio del campo y en los acampamentos; para lo qual envuelven sus botellas en paños mojados, y las exponen al sol á fin de que la evaporacion sea mas pronta. Se acierta en hacer esto, pues que es muy agradable y aun muy sano el beber fresco.

CAPÍTULO XIV.

DE LA NATURALEZA Y DE LAS PROPIEDADES DE LA LUZ.

1171 La luz es un fluido que quando obra sobre nuestros ojos nos hace pasar de repente de las tinieblas á la claridad: que nos hace, por decir así, salir fuera de nosotros mismos para ir delante de los objetos: que hace que podamos juzgarlos desde léjos; y en fin que da el color y el resplandor á todas las producciones de la naturaleza y del arte.

1172 Reside este fluido como intermedio entre

Digitized by Google

el cuerpo visible y el órgano que le percibe ; y ocupa por sí mismo y por su accion el intervalo que los separa ; á causa de que un cuerpo no puede obrar sobre otro cuerpo sino tocándole inmediatamente, ó por medio de una materia interpuesta ; luego lo que hace visibles á los objetos es una materia : pero ¿quál es esta materia?

1173 La luz es capaz de quemar los cuerpos combustibles (1118 y 1119), y el fuego nos alumbra; luego no será fuera de razon el pensar que un solo y mismo fluido produce estos dos efectos. Tambien hemos dicho (1097) que el principio del fuego y el de la luz son una misma y sola sustancia , pero diferentemente modificada : este es el parecer del Doctor *s' Gravesande* , el qual hace consistir la diferencia de la luz y del calor , en que , para producir la luz , se necesita que las partículas de este fluído se muevan en línea recta ; y para producir el calor , se necesita que tengan un movimiento irregular. Se tiene la prueba de esto en los rayos que vienen inmediatamente del sol , y que , aunque reunidos en muy gran número en un pequeñísimo espacio por medio de un espejo ustorio , no producen calor ninguno sensible (1123); al paso que si se les hace caer sobre qualquier cuerpo que los reflexe en toda suerte de direcciones , se excita un grado de calor muy vivo.

1174 Pero se podrá decir , si esto fuese *así no* deberia haber luz sin calor , ni calor sin luz. A lo que se debe responder que nuestros sentidos no son suficientes para decidir esta qüestion ; por el motivo de que la luz es un fluido que puede enrarecerse y debilitarse infinitamente hasta un punto que nuestros ojos no la perciban : y el calor es susceptible de una infinidad de grados que no podemos medir ; por la razon de que no hay calor que sea

Digitized by Google

sensible para nosotros, si no tiene al mismo tiempo mas intensidad que el que se halla en los órganos de nuestros sentidos; y los cuerpos no carecen de calor absoluto, aun quando nos parezcan frios, por no conocerse el cero del calor; luego en qualquier parte en donde haya calor puede haber luz, sin que nosotros la percibamos; y en donde quiera que haya luz puede haber calor sin que le sintamos.

1175 Despues de haber determinado la naturaleza de la luz, exâminemos ahora, 1.° en qué sitio reside, y cómo se esparce, desde su orígen, en el espacio que ilumina; en una palabra, cómo se propaga su accion: 2.° quáles son las direcciones que parece seguir en sus diferentes movimientos: 3.° quáles son los obstáculos que pueden hacerla variar de direccion, y quáles son los caminos que ella toma quando la varía: 4.° de adónde resultan los colores que nos hace percibir; y 5.° quáles son sus efectos relativamente al órgano de la vista, y relativamente á los instrumentos de óptica.

De la propagacion de la luz.

1176 El modo con que se propaga la luz es aun un misterio para nosotros. Segun *Descartes* y *Huygbens*, la propagacion de la luz se hace por *presion*; y segun *Newton* se hace por *emision*.

1177 Suponen pues los primeros que la materia de la luz es un fluido inmenso, cuyas partes, muy pequeñas, perfectamente duras, y en forma de glóbulos, llenan sin interrupcion toda la esfera del universo. Todos los cuerpos luminosos por sí mismos, tales como el sol, las estrellas, y todos los cuerpos que se inflaman, animan esta materia, no transportándola de un sitio á otro, sino solamente con

Digitized by Google

un movimiento de vibracion, semejante poco mas ó ménos al que produce el sonido. En conseqüencia, han sostenido los primeros, que se transmite á la mayor distancia la accion de la luz en un instante indivisible.

1178 Pretenden los Neutonianos que la luz es una emanacion real de los cuerpos luminosos; y que por conseqüencia el sol, las estrellas, una vela encendida, &c. arrojan continuamente al rededor de ellos rayos de su propia sustancia. Segun los Neutonianos, estan compuestos estos rayos de partes que se suceden y se renuevan perpetuamente en un mismo lugar, y con toda la velocidad de la propagacion de la luz; de modo que las partes que nos iluminan en este momento, no son las que nos iluminaban el instante ántes, ni las que nos iluminarán el instante siguiente. Luego es preciso que corra esta materia con una rapidez á que nada se acerca; y que sus partes se dilaten y se extiendan hasta el punto de ocupar espacios inmensos, con respecto al espacio pequeño que las contenia, y al poco tiempo que emplean en esparcirse; porque, segun la observacion hecha por *Dominico Cassini* en 1675 sobre la retardacion de las emersiones de los satélites de Júpiter, no emplea la luz en venir desde el sol á nosotros mas que cerca de 8 minutos; luego debe correr mas de 72400 leguas por segundo de tiempo; velocidad inconcebible, y á la que se resiste nuestra imaginacion. En efecto, quando la tierra se acerca á Júpiter, nos parece comienzan mas pronto las emersiones de los satélites de este planeta; en lugar de que quando la tierra se aleja de Júpiter, se verifican sus emersiones cada vez mas tarde; alejándose mucho en los dos casos del tiempo señalado por las tablas; lo qual proviene, segun toda apariencia, de que la luz solar que los satélites nos re-

Digitized by Google

flexan, tiene en este caso mas camino que andar que en el otro, para venir del satélite á nuestros ojos, y este camino mas grande es el diámetro del orbe anuo de la tierra.

1179 Luego la propagacion de la luz no es instantánea como ha querido *Descartes*; cuyo parecer no se puede sostener con respecto á esto. Pero si se conviene, como se debe hacer, en que los glóbulos de luz no son perfectamente duros, sino que son flexibles y elásticos, lo qual es esencial para que puedan ser reflexados; y á mas, si se conviene en que no tienen una contigüidad perfecta, lo qual es mas que probable, bastará esto para causar esta retardacion que se observa en la propagacion de la luz (1178). Es verdad que se objeta aun á *Descartes* que no habria obscuridad, porque un movimiento de presion se comunica en todas direcciones; pero se puede responder que en efecto no hay jamas obscuridad perfecta; por la razon de que estando fuera de cubierto por algun tiempo, en la noche mas obscura, se ve lo suficiente para caminar, y para percibir muy bien los obstáculos que se oponen al paso. El sistema de *Descartes* corregido podria pues considerarse como el de *Newton*, tanto mas, quanto este último exîge, como lo acabamos de ver (1178), una velocidad inconcebible en el movimiento de la luz. Por otra parte no es nada fácil de explicar en este último sistema, el por que cesa la luz súbitamente luego que desaparece el cuerpo luminoso, pues que un momento despues que este cuerpo ha desaparecido, exîsten aun al rededor de nosotros los corpúsculos que él ha lanzado, y deben conservar una buena parte del movimiento prodigioso que han recibido del tal cuerpo luminoso.

1180 Luego es preciso confesar que estas dos

Digitized by Google

opiniones, de *Descartes* y de *Newton*, no estan demostradas, ni la una ni la otra; y que la respuesta mas prudente que se podria dar á la qüestion de *la propagacion de la luz*, seria tal vez el decir que no sabemos nada de ella. Por lo demas, sea que se piense con *Descartes* que la propagacion de la luz se hace por presion, sea que se crea con *Newton* que se hace por emision, siempre resultan de uno y otro los mismos fenómenos; así, cada uno podrá elegir de los dos pareceres el que le agrade mas. Sin embargo, no debemos disimular una cosa que milita en favor de la opinion de *Descartes*. Está reconocido por todos los físicos que *no podemos ver cosa ninguna sino por medio de la luz*; sin embargo, todos los cuerpos que se vuelven fosfóricos (que son en muy gran número) no estan reputados como *cuerpos luminosos*, y son no obstante capaces de alumbrarnos; luego exîste otra luz diferente de la que emana de los cuerpos luminosos.

De las direcciones que sigue la luz en sus diferentes movimientos.

1181 Los movimientos de la luz se parecen á los de los demas cuerpos: ella sigue, en tanto que puede, la primera impulsion recibida; y se extiende en línea recta, miéntras que no encuentra obstáculo alguno, ni nuevo intermedio que haga variar su direccion. Estas líneas rectas, baxo las quales se propaga ella ó su accion, son á las que se llama sus rayos; cuyo principio es el fundamento de la *óptica*.

1182 Al encontrar un cuerpo opaco, se reflexa la luz, de modo que su ángulo de reflexion es igual al de su incidencia: este principio es el fundamento de la *catóptrica*.

Digitized by Google

1183 Quando la luz pasa de un intermedio á otro de una resistencia diferente, se refractan sus rayos de modo que el seno de incidencia está en razon constante con el seno de refraccion; cuyo principio es el fundamento de la *dióptrica*.

1184 Luego la óptica tiene por objeto la luz directa: la catóptrica la luz reflexa; y la dióptrica la luz refracta.

De los principios de la Óptica.

1185 La óptica tomada en el sentido mas estricto, es propiamente la ciencia que tiene por objeto los efectos de la luz directa, y por conseqüencia la ciencia de la vision directa, es decir, de la vision de los objetos por rayos que vienen directa é inmediatamente de estos objetos á nuestros ojos, sin ser reflexados ni refractados por ningun otro cuerpo reflectente ó refringente.

1186 Pudiendo ser percibido de todos lados cada punto visible de un objeto, se le debe concebir como el centro comun de una infinidad de rayos de luz transmitidos ó reflexados *a* (*fig.* 137); por cuyo motivo se le da el nombre de *punto radiante*. Si se halla un ojo colocado delante de este punto visible *a* (*fig.* 138), recibe un cierto número de estos rayos, que partiendo todos de un punto comun *a*, forman una pirámide cuya base *b* está apoyada en el ojo, y la punta ó vértice *a* en el objeto visible. Luego estos rayos llegan divergentes al ojo; y esta divergencia se mide por el ángulo *b a c*, ó *c a d* (*fig.* 139) que forman entre sí; y cuyo ángulo está tanto mas abierto, quanto mas cerca del ojo se halla el objeto, y vice versa.

1187 Si el objeto es de una magnitud sensible, se hallan muchos puntos visibles *a*, *b*, *c*, &c. (*fig.* 140) hácia el lado del ojo, el qual estando co-

locado en un sitio qualquiera *d*, *e*, *f*, &c. pues que los rayos salen en todas direcciones (1186.) (*fig.* 137), recibe de cada uno de estos puntos una pirámide compuesta de rayos divergentes, las quales pirámides convergen en el ojo; y su grado de convergencia, que determina la magnitud aparente del objeto, se mide por el ángulo *a b c*, ó *a d c* (*fig.* 141) que forman entre sí. Tambien es este ángulo tanto mas abierto, quanto mas cerca se halla el objeto del ojo; en cuya conseqüencia parece el objeto tanto mas grande; y al contrario, parece tanto mas pequeño, quanto mas distante está.

1188 Luego vemos los objetos por dos suertes de rayos; pues que vemos cada punto de un objeto por una pirámide de rayos divergentes (1186), y el objeto entero le vemos por la convergencia en nuestro ojo, de todas las pirámides que parten de cada punto (1187).

1189 Juzgamos de la direccion en que se halla el objeto visible, así como de su distancia, por medio de estas pirámides: la direccion está siempre en la longitud del exe *a b* (*fig.* 142) de la pirámide; y la distancia la consideramos en el sitio *c* del exe en donde se cruzan los rayos.

1190 De lo que acabamos de decir se sigue, 1.° que un plano colocado enfrente de un punto radiante ó visible, viene á ser la base de una pirámide de luz (1186).

1191 Y como los rayos que forman esta pirámide son divergentes, va siempre prolongándose su base, á proporcion que se aleja el plano del punto visible; y en conseqüencia está el plano cada vez ménos iluminado; á causa de que á dos distancias, el diámetro de la base de la pirámide es duplo de lo que era á una distancia, y su area es quadrupla; luego sobre un espacio dado, los rayos serán quatro veces

Digitized by Google

tan raros. Luego *la luz que viene directamente del punto radiante, se debilita en razon del quadrado de la distancia.*

1192 Así como la luz se debilita sobre este plano, á proporcion que se la aleja, así tambien disminuye en el ojo, quando este se aparta cada vez mas del objeto; lo que hace que á un cierto grado de distancia cesemos de verle, por la razon de que entónces son muy raros los rayos de luz, y hacen una impresion bastante débil sobre nuestros ojos.

1193 Este grado de distancia, en el que no se verifica la vista del objeto, varía segun el estado del ojo, segun la naturaleza ó las qualidades del objeto, y segun la intensidad de la luz que le hace visible: 1.° hay unos ojos que son mas sensibles que otros, y los primeros ven desde mas léjos: 2.° los cuerpos luminosos por sí mismos se perciben desde mucho mas léjos que aquellos que no lucen sino con una luz prestada: 3.° la intensidad de la luz del objeto, ó el modo con que está iluminado, hace tambien que se le perciba á diferentes distancias.

1194 Quando un cuerpo luminoso por sí mismo está á una distancia muy grande, son quasi paralelos los rayos que vienen de él; y esta es la causa de que los objetos de esta especie se perciban quasi tan claramente á algunos millones de leguas mas ó ménos léjos, como sucede por exemplo con las estrellas.

1195 Pues que se extienden los rayos de luz, en tanto que pueden, por líneas rectas (1181), y pues que la vision se hace en esta direccion; quando esten interrumpidas estas líneas por algun obstáculo, la vision no se verificará. *Este obstáculo produce una sombra tanto mas grande, quanto mas cerca está del objeto visible.*

1196 Si la esfera del cuerpo luminoso es mas

Digitized by Google

grande que la del cuerpo opaco que ocasiona la sombra, *tiene esta sombra la forma de un cono*, cuya base está apoyada sobre el cuerpo opaco, y la punta ó vértice se halla en la extremidad de la sombra; á causa de que entónces son convergentes entre sí los rayos que terminan la sombra del cuerpo opaco, y tienden á reunirse en un punto comun: tal es la sombra de la tierra iluminada por el sol. Supongamos, por exemplo, que el globo *a* (*fig.* 143) represente el sol, y el globo *b* la tierra: es evidente que los rayos extremos *c d*, *e f*, que salen del sol hácia la tierra, irán, pasando por el lado de la superficie del globo terrestre, á reunirse en el punto *g*, lo qual formará una sombra de figura cónica. Luego, &c.

1197 Quando la esfera del cuerpo luminoso es mas pequeña que la del cuerpo opaco, *tiene la sombra la figura de un cono truncado*; por estar entónces terminada esta sombra por rayos divergentes entre sí; los quales van siempre por consequencia apartándose los unos de los otros: tal es la sombra de la tierra iluminada por la luna. Si suponemos que el globo *a* (*fig.* 144) representa la luna iluminando al globo de la tierra *b*, estará terminada la sombra de esta por los rayos *c d*, *e f*, divergentes entre sí. Luego estará comprehendida esta sombra en el espacio *b d f g*; el qual tiene la forma de un cono truncado. Luego, &c.

1198 Si la esfera del cuerpo luminoso, y la del cuerpo opaco son de una misma magnitud, *la sombra es cilíndrica*, y se extiende, por decir así, al infinito; porque supongamos que el globo luminoso *a* (*fig.* 145) ilumine al globo opaco *b*; en este caso estará terminada la sombra del globo opaco por los rayos paralelos *c d*, *e f*, que no pueden reunirse jamas, ni apartarse los unos de los otros; lue-

Digitized by Google

go esta sombra estará comprehendida en el espacio *b f d g*, el qual espacio tiene la forma de un cilindro, cuya longitud es, por decirlo así, infinita. Luego, &c. Esta es la causa de que la sombra de los cuerpos terrestres sea tan larga al salir y ponerse el sol; pues que como entónces son quasi paralelos al horizonte los rayos que vienen de este astro, tardan mucho mas en reunirse. (Véase el *Thaumaturgus opticus* del *P. Niceron*, y el *suplemento á esta obra.*)

1199 Luego todo cuerpo opaco arroja una sombra en la misma direccion que la de los rayos de luz, es decir, hácia la parte opuesta á la luz; y esta es la causa de que á proporcion que varía de sitio el cuerpo luminoso ó el cuerpo opaco, varie igualmente la sombra. Veremos la aplicacion de este principio, al hablar de los eclipses de sol (2018 *y siguientes.*)

1200 Todo cuerpo opaco arroja otras tantas sombras diferentes, como cuerpos luminosos hay que le iluminen.

1201 Quanto mas grande es la intensidad de la luz del cuerpo luminoso, mas espesa ú obscura es la sombra; así, la obscuridad de la sombra se mide por los grados de luz de que está privado este espacio. No es decir esto que la sombra, que es una privacion de luz, sea mas fuerte con respecto á un cuerpo que con respecto á otro; sino que quanto mas iluminadas estan las inmediaciones de la sombra, mas obscura se la juzga por comparacion.

1202 Se distingue dos especies de sombras, la sombra recta y la sombra inversa. La sombra recta es la que arroja un cuerpo sobre un plano horizontal al que es perpendicular. Sea *a b* (*fig.* 146) el plano horizontal, *c d* el cuerpo perpendicular sobre el plano, y *e b* el rayo de sol que toca al pun-

Digitized by Google

to *c* del cuerpo; y *d b* será la sombra recta de este cuerpo. *La sombra recta* d b *es al cuerpo* c d *que la produce, como el coseno* e f *de la altura de la luz es al seno* a e *de esta misma altura* [1]. De adonde se sigue, que si este seno y el coseno son iguales, lo que sucede quando el sol está elevado á 45 grados sobre el horizonte, es igual al cuerpo mismo la sombra recta de él: es mas grande si el seno de la altura de la luz es mas pequeño que el coseno de esta misma altura, lo que sucede quando la elevacion del sol es menor de 45 grados sobre el horizonte; y es mas pequeña la sombra quando el seno es mas grande que el coseno, lo qual se verifica quando la elevacion del sol es mas de 45 grados sobre el horizonte; y esta es la razon de que las sombras á medio dia sean mas pequeñas en verano que en invierno.

1203 La sombra inversa es aquella que causa un cuerpo puesto sobre un plano vertical: sea por exemplo *a b* (*fig.* 147) el tal plano vertical, *c d* un cuerpo perpendicular á este plano, y *e d* un rayo del sol que toca al punto *d* de este cuerpo: *c b* será la sombra inversa del cuerpo *c d*. Tal es la sombra de un brazo tendido, señalada en el cuerpo de un hombre, la de una barra ó bareta de hierro fixada perpendicularmente en una pared, &c. Así como la sombra recta es, segun se acaba de ver (1202), al cuerpo opaco, como el coseno de la altura de la luz es al seno de esta misma altura; así tambien *la sombra inversa es al cuerpo que la produce, como el seno* e c *de la altura de la luz es á su coseno* e f.

1204 Hemos dicho (1187) que si un objeto es

[1] Por la razon de que siendo $e f = a b$ el triángulo $b c d$, es semejante al triángulo $b e a$, y $d b : c d :: a b = e f : a e$. *Nota del Traductor.*

Digitized by Google

de una magnitud sensible, se hallan en él muchos puntos visibles vueltos hácia el ojo que mira este objeto: luego recibe este ojo de cada uno de estos puntos una pirámide compuesta de rayos divergentes: luego el ojo viene á ser como la base comun de un gran número de pirámides luminosas, cuyos vértices estan en los puntos radiantes del cuerpo visible; y como la pupila del ojo es un agujero, pasan á él todas estas pirámides de luz sin confundirse, y cruzándose; despues de lo qual, forman otras pirámides opuestas á las primeras por su base, como lo probaremos mas adelante (1519), dirigiendo su vértice al fondo del ojo, en donde hace cada una separadamente su impresion. Si se quiere convencerse de que las pirámides que salen de diferentes puntos, y que pasan por un mismo agujero, se cruzan, es preciso hacer el experimento siguiente.

EXPERIMENTO. Háganse tres agujeros *a*, *c*, *b*, (*fig.* 148) en el postigo de una ventana expuesta á los rayos solares, teniendo cuidado de poner en cada uno de estos agujeros una lente cuyo foco se halle á corta distancia; lo qual representará tres puntos radiantes (1186): hágase tambien que la lente del agujero *a* sea de un cristal encarnado, la del agujero *b* de un cristal azul, y la del agujero *c* de un cristal blanco: presentese delante de estos tres puntos radiantes un plano agujereado en *g*; y detras de este plano un carton blanco sobre el qual se recibirán las imágenes de los tres manojos de rayos que pasan por el agujero *g*: se observará que á una muy corta distancia detras del agujero *g*, los manojos de rayos, una vez separados, son de un color puro; en términos que los que salen del punto *c*, y que van á terminar en *e*, quedan sin color: los del punto *a* que van á *d*, son de un encarnado hermoso; y los del punto *b*, que van á *f*, de un

azul puro. Luego, 1.° estas pirámides luminosas pasan por el agujero *g*, sin confundirse; luego, 2.° pasan cruzándose en él, pues que la de la parte inferior va á pintarse en la parte superior, y la de la parte superior á la inferior.

1205 Supongamos que el agujero *g* represente la pupila, y que el carton blanco que está detras sea el fondo del ojo: pues que lo que se halla en la parte superior va á pintarse á la inferior, &c. se sigue que se pintan los objetos en el fondo de nuestros ojos en una situacion inversa, y sin embargo los vemos rectos; lo qual debe ser así, segun la situacion de sus imágenes en el ojo; á causa de que siempre concebimos el objeto en la direccion del rayo que nos trae la imágen de él. Supongamos el objeto *a b* (*fig.* 149) delante del qual esté colocado un ojo: los rayos que salen de todos los puntos de este objeto vueltos hácia el ojo, van á cruzarse en la pupila *c* (1204), y en seguida á señalar la imágen de este objeto sobre el fondo *d e* del ojo en una situacion inversa. Segun esta impresion, se concibe el punto *a*, que estando en la parte superior se halla pintado en la inferior del ojo, se le concibe digo en la direccion *e c a*; por la misma razon, se concibe el punto *b* en la direccion *d c b*, &c.; y por conseqüencia vemos este objeto en su situacion natural: este es el parecer de *Kepler* y de *Descartes*. Mas adelante veremos (1311), ser esta la causa de que juzguemos que el objeto se halla fuera de su verdadero sitio, quando el rayo ha sufrido alguna inflexion. Luego no se debe creer, como quieren algunos, que vemos naturalmente invertidos los objetos, y que no los vemos rectos hasta que la habitud ha rectificado el sentido de nuestra vista, por medio del tacto; ántes nos es al contrario imposible el verlos de otro modo mas que en su situacion

Digitized by Google

natural, aunque se pinten en el ojo en una situacion inversa, pues que los percibimos por rayos que se cruzan en la pupila.

1206 Se llaman *ángulos ópticos* ó *visuales* aquellos que estan formados por los rayos que, saliendo de las extremidades de un objeto, vienen á convergir en nuestro ojo: tales son los ángulos *a c b*, *f c g* (*fig.* 149). Vemos los objetos tanto mas grandes, quanto mas abiertos estan los ángulos ópticos que abrazan sus dimensiones; y como estos ángulos van siendo mas agudos, á proporcion que el objeto se aleja del ojo (el ángulo *f c g* es mas agudo que el ángulo *a c b*), se sigue que *disminuye la magnitud aparente de un objeto como aumenta su distancia.* Esta es la razon de que veamos á la luna, no obstante ser mas pequeña que Marte, Júpiter, &c. con mucha mas magnitud que con la que vemos á estos astros, á causa de que está mucho mas cerca de nosotros. Luego es preciso tener en consideracion la distancia á que se halla un cuerpo, para juzgar de su magnitud real.

1207 Por el mismo principio se juzga de la distancia respectiva de dos objetos vistos á un mismo tiempo; á causa de que se puede mirar á estos dos objetos como si fuesen las extremidades de uno solo. Esta es la razon, de que quando entramos en una calle de árboles (*fig.* 150), cuya altura de ellos sea igual, y que esten colocados en dos líneas bien paralelas, nos parezca esta calle mas estrecha y mas baxa en la otra extremidad. Es fácil de ver que el ángulo *b a c* es mucho mas agudo que el ángulo *d a e*: luego nos debe parecer que se hallan mas próximos el uno al otro los dos árboles *b*, *c*; y que es por conseqüencia mas estrecha la calle en este sitio.

1208 Se dexa de ver, por lo regular, un ob-

Digitized by Google

jeto no luminoso por sí mismo, aun quando esté iluminado, si los ángulos ópticos tienen ménos de un minuto de grado; pero los cuerpos luminosos se ven baxo ángulos mucho mas pequeños; como las estrellas que las vemos muy bien, aun quando no tengan un segundo de grado de diámetro aparente (1700).

1209 A pesar de la certitud de estos principios, tenemos una infinidad de ilusiones de óptica, y de errores de la vista, de los que no podemos librarnos: es raro el que percibamos, baxo su verdara figura, un objeto que vemos á alguna distancia. Supongamos una fila de árboles *a b c* (*fig.* 151) plantados en una porcion de la circunferencia de un círculo, cuya convexidad está vuelta hácia el ojo *d*: como nos parece que todos estos árboles estan igualmente iluminados, los creemos á todos á igual distancia de nuestro ojo; luego debemos juzgarlos en la circunferencia *a e c* de un círculo cuyo centro ocupa el ojo *d*; y si estamos un poco distantes, es tan pequeña la porcion que se forma de un círculo tan grande, que nos parece ser una línea sensiblemente recta la curva *a b c*. Esta es la razon de que nos parezcan el sol y la luna unos planos circulares, no obstante ser unos globos; á causa de que sus centros no se nos presentan mas luminosos que sus circunferencias: luego juzgamos á aquellos y á estas á iguales distancias de nuestros ojos.

1210 No podemos formar un juicio exácto de la velocidad del movimiento de un cuerpo, 1.° si no conocemos la distancia que hay entre él y nosotros; 2.° si se presenta obliquamente á nuestra vista el espacio que corre este cuerpo. Porque supongamos dos hombres colocados el uno en *a* y el otro en *b* (*fig.* 152): que el primero vaya en dos minutos al punto *c*, y el otro en igual tiempo al

Digitized by Google

punto *d*; y cada uno con una velocidad uniforme: es preciso necesariamente que caminen con unas velocidades desiguales, pues que el uno tiene mas camino que andar que el otro en un tiempo igual: sin embargo, al que se halle colocado en *f* le parecerá que los dos caminan con velocidades iguales; pues que quando *a* llegará á *e*, *b* llegará á *b*; quando *a* llegue á *g*, *b* llegará á *i*, &c. y parecerá que se hallan los dos el uno enfrente del otro, y por conseqüencia que caminan con velocidades iguales, si no se sabe que el uno está mas distante que el otro. Por otra ilusion de óptica, si dos hombres saliendo del punto *a*, van á pasos iguales, el uno á *c* y el otro á *d*, parecerá al que se halle colocado en *f*, que caminan los dos con velocidades muy desiguales.

1211 El movimiento se hace insensible á la vista quando no excede de 20 segundos de grado por cada segundo de tiempo. De adonde se sigue, que una muy grande velocidad puede ser insensible á la vista por la distancia excesiva que haya entre el móvil y el ojo. Esta es la razon de que no percibamos, de un segundo á otro, el movimiento del sol, el que no parece correr mas que 15 segundos de grado por segundo de tiempo.

1212 Si un móvil describe una curva, y el exe de la vision se halla en el plano de ella, no percibimos esta curvatura. Supongamos una vela encendida colocada en *a* (*fig.* 153) sobre la circunferencia del círculo *a b c d*, y que el exe *e d b* de la vision esté en el plano de este círculo: quando la vela se mude de *a* á *b*, parecerá al ojo puesto en *e*, que va de *a* á *f*: al pasar de *b* á *c*, parecerá que va de *f* á *c*, y así del resto de la curva; á causa de que parece igualmente luminosa en todos los puntos de su camino: luego no se la debe creer mas

Digitized by Google

distante en un punto que en otro. Esta es la razon de que no veamos circular los satélites de Júpiter al rededor de su astro principal; viéndose solamente en ellos un movimiento alternativamente de izquierda á derecha, y de derecha á izquierda.

1213 Los astros en el horizonte, tales como el sol y la luna, nos parecen siempre mas grandes que quando estan mas elevados, mas grandes en *a* (*fig.*154) que en *b*, &c. Una de las razones de esta ilusion es que siendo ménos luminosos en *a*, á causa de los vapores que hay quasi siempre hácia el horizonte, los juzgamos mas distantes, y por conseqüencia mas grandes. Tampoco nos parece que describen la curva circular *c d e*, sino la curva rebaxada *c f g*. La magnitud aparente de estos astros en el horizonte debe atribuirse principalmente, como lo ha hecho el *P. Malebranche*, á la interposicion de los objetos terrestres. Una prueba de esto es, que si se oculta con la mano ó de otro modo, todos los objetos que se hallan entre la luna y el que la mira, de modo que no se vea mas que el astro, su diámetro parece sensiblemente disminuido. Aun hay probablemente otras muchas razones de estas suertes de ilusiones de óptica.

De los principios de la Catóptrica.

1214 La Catóptrica es una ciencia que tiene por objeto los efectos de la luz reflexa. Así como los demas cuerpos, exerce la luz sus movimientos en línea recta (1181), en tanto que puede: sus rayos, sometidos siempre á las reglas generales, estan tambien sujetos á desviarse de su primera direccion, quando encuentran un cuerpo que les impide el paso, y les fuerza á volverse atras y á reflexarse. Luego todos los cuerpos no luminosos por sí mismos, pero

Digitized by Google

visibles, reflexan la luz, sin lo qual no se les podria ver. Pero lo que hace principalmente que se reflexe la luz es el encuentro de cuerpos opacos; pues que se ve mejor á estos últimos que á los cuerpos transparentes; en términos que si fuesen perfectamente transparantes como el ayre, no se los veria de modo alguno.

1215 Pero por muy opaco que sea un cuerpo, jamas reflexa toda la luz que cae sobre él. Se puede concebir esta luz dividida en tres partes, de las que una se reflexa regularmente, señalando, despues de la reflexion, una direccion que tiene una relacion constante con la que tenia ántes: otra parte se reflexa irregularmente esparciéndose y dirigiéndose en toda suerte de direcciones, á causa de la desigualdad inevitable de las superficies; y en fin la tercera se destruye en el contacto, por una causa desconocida hasta ahora. No tratarémos aquí mas que de la primer porcion de luz, que es la que se reflexa con regularidad; por ser la única que está sujeta á movimientos que se pueden preveer; haciendo abstraccion de la luz que se dispersa, y de la que se extingue.

1216 Manifiesta la experiencia que quando la luz se reflexa, forma siempre el ángulo de su reflexion perfectamente igual al de su incidencia. Supongamos una superficie, por exemplo, un espejo *a b* (*fig.* 155): si cae en él un rayo de luz en una direccion perpendicular *d c*, se reflexa en la misma direccion, y forma por conseqüencia al reflexarse, con este espejo, un ángulo recto, así como formó, con este mismo espejo, un ángulo recto al caer en él.

1217 Si cae este rayo en una direccion obliqüa, como por exemplo *e c*, se reflexa en la direccion *c f*; y forma con este espejo el ángulo de su re-

Digitized by Google

flexion *f c a* perfectamente igual al ángulo de su incidencia *e c b*.

1218 Pues que el ángulo de la reflexion de la luz es siempre igual á su ángulo de incidencia (1216 y 1217), prueba esto que las partes que causan su reflexion tienen un resorte perfecto. Como no se puede atribuir esta perfeccion de resorte á la superficie de los cuerpos, se cree que no son las partes propias de las superficies las que reflexan la luz: *Newton* pensó que esta se reflexa en virtud de una potencia capaz de reflexar, que se halla delante de la superficie del cuerpo, porque dice este filósofo (*página* 312 *de su óptica*), que "la reflexion de un rayo »de luz es producida, no por un punto particular del »cuerpo reflectente, sino por alguna potencia del »cuerpo, que está igualmente esparcida sobre toda »su superficie, y por la qual obra el cuerpo sobre »el rayo sin tocarle inmediatamente." Es cierto que no hay cosa ninguna que mas se parezca á las *qualidades ocultas que esta potencia capaz de reflexar*. Pero de este modo se raciocina, quando no se tiene valor para confesar que se ignora la causa de un hecho, lo que seria no obstante mas sencillo y mas verdadero. ¿No se podria decir que la luz es reflexada por las mismas partes de la luz que se hallan en los poros de los cuerpos, á causa de que los cuerpos mas densos, tales como el oro, tienen, segun el mismo *Newton* (*página* 313 *de su óptica*), en su contestura mas vacíos que partes sólidas? Luego puede mirarse su superficie como una red, cuyas pequeñas mallas estan llenas de la materia de la luz. La facilidad con que se vuelven fosfóricos la mayor parte de los cuerpos (1180), parece probar esto.

1219 La ley general de que *la luz forma siempre su ángulo de reflexion igual al de su inciden-*

Digitized by Google

cia (1216), es el fundamento de toda la catóptrica: sola ella basta para dar razon de todos los fenómenos; no siendo las demas leyes mas que unas conseqüencias, y aplicaciones de esta. Sin embargo, para que se pueda comprehender esto mas fácilmente, expondremos las diferentes apariencias que se observa en diferentes circunstancias, las que se verá claramente no son mas que unas conseqüencias, y aplicaciones de este primer principio.

1220 Para que la luz reflexa nos trace la imágen de un objeto, es preciso que obren muchos rayos juntos; pues que uno solo formaria en el fondo de nuestro ojo una imágen demasiado débil, para que la pudiesemos percibir. Pero estos rayos pueden estar diferentemente dispuestos relativamente los unos á los otros; pues que pueden ser ó paralelos entre sí, ó convergentes, ó divergentes; y las superficies sobre que caen, pueden ser planas, convexâs ó cóncavas. He aquí lo que sucede en estos diferentes casos, segun el principio establecido arriba (1219).

1221 1.° Supongamos una superficie plana: rayos paralelos que caen sobre ella se reflexan paralelos: rayos convergentes se reflexan con el mismo grado de convergencia; y rayos divergentes se reflexan con el mismo grado de divergencia. De modo que las superficies planas no mudan nada la disposicion natural de los rayos de luz. Sean los espejos planos *a b* (*fig.* 156, 157, 158).

1222 Los rayos *d b* y *c a* (*fig.* 156), que son paralelos entre sí, se reflexan, despues de haber tocado la superficie *a b*, el uno hácia *b*, y el otro hácia *k*, formando con el espejo, el uno el ángulo de reflexion *i b b* igual á su ángulo de incidencia *f b d*; y el otro el ángulo de reflexion *g a k*, igual á su ángulo de incidencia *e a c*, pues que estos dos ángulos tienen por medida arcos iguales de círculos

Digitized by Google

iguales; y se ve que estos dos rayos son paralelos despues de su reflexion, como lo eran ántes de su incidencia.

1223 Los rayos *d b* y *c a* (*fig.* 157), que son convergentes entre sí, de modo que sin la interposicion del espejo *a b* irian á reunirse en *m*, se reflexan de tal suerte, que formando cada uno el ángulo de su reflexion *g b k*, ó *i a b*, igual al ángulo de su incidencia *f b d*, ó *e a c*, van á reunirse en *l*, punto tan distante de los dos de contacto *a* y *b*, como lo está el punto *m*. Luego su convergencia es, despues de la reflexion, la misma que era ántes.

1224 Los rayos *d b* y *c a* (*fig.* 158), que son divergentes entre sí, tienen, despues de su reflexion hácia *b* y *k*, el mismo grado de divergencia en *f* que hubieran tenido en *e*, si no habiendo encontrado al espejo *a b* hubiesen continuado moviéndose en su primera direccion. Pero los dos puntos *f* y *e* estan igualmente distantes de los puntos de contacto *a* y *b*; luego su divergencia es, despues de su reflexion, la misma que era ántes.

1225 2.° Supongamos una superficie convexâ: rayos paralelos que caen en ella se reflexan divergentes: rayos convergentes se reflexan ménos convergentes, y pueden tambien perder toda su convergencia, y hacerse paralelos, ó aun divergentes, segun la mayor ó menor curvatura de la superficie que los reflexa; y rayos divergentes se reflexan mas divergentes. De modo que las superficies convexâs tienden siempre á esparcir los rayos de luz, disminuyendo la convergencia, y aumentando la divergencia. Sean los espejos convexôs *b d* (*fig.* 159, 160 y 161). Represento aquí los espejos curvos por dos elementos inclinados el uno al otro; por la razon de que todas las curvas son unos conjuntos de líneas

Digitized by Google

rectas infinitamente cortas, é insensiblemente inclinadas entre sí; señalando en grande estos elementos, á fin de que se pueda entender mas fácilmente esta doctrina.

1226 Los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 159), que son paralelos entre sí, encontrando al espejo convexo *b d*, y formando sus ángulos de reflexion *f b e* y *b d i* iguales á los de su incidencia *g b a* y *k d c*, son divergentes despues de su reflexion.

1227 Los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 160), que son convergentes, de modo que sin la interposicion del espejo *b d*, irian á reunirse en *e*, van, segun el mismo principio, á reunirse en *f*, mucho mas léjos de los puntos de contacto *b* y *d*, que lo que lo está el punto *e*; y se ve que si la inclinacion de los dos elementos *b* y *d* de la curvatura, fuese mas grande, podrian reflexarse los rayos quedando paralelos, ó aun divergentes.

1228 Los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 161), que sin la interposicion del espejo convexo *b d*, serian muy poco divergentes en *e*, toman despues de su reflexion una divergencia mucho mas grande hácia *f*, cuyo punto señala un grado de distancia á los puntos de contacto igual al que hay desde *e*.

1229 3.° Supongamos una superficie cóncava: rayos paralelos que caen sobre ella, se reflexan convergentes: rayos ya convergentes se reflexan mas convergentes; y rayos divergentes se reflexan ménos divergentes; pudiendo tambien tomar toda su divergencia, y hacerse paralelos, y aun convergentes. De modo que las superficies cóncavas tienden siempre á reunir los rayos de luz, aumentando su convergencia, y disminuyendo su divergencia. Sean los espejos cóncavos *b d* (*fig.* 162, 163 y 164): basta echar la vista sobre estas figuras, para conocer la verdad de lo que acabamos de decir.

Digitized by Google

1230 Los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 162), que son paralelos ántes de su reflexion, se hacen convergentes en *e*, despues de haber formado sus ángulos de reflexion iguales á los de su incidencia.

1231 Los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 163), que sin la interposicion del espejo *b d*, irian á reunirse en *e*, se reunen en *f* despues de su reflexion, punto mas inmediato á los puntos de contacto *b* y *d* que lo que lo está el punto *e*.

1232 En fin, los rayos *a b* y *c d* (*fig.* 164), que son divergentes entre sí ántes de su reflexion, se hacen despues convergentes hácia *e*.

1233 Por medio de estos principios es fácil preveer todos los efectos de los espejos, y dar razon de ellos; y en general explicar todos los fenómenos que dependen de la catóptrica.

1234 Se llama *espejo* un cuerpo cuya superficie está bastante bien pulimentada para reflexar con regularidad la mayor parte de los rayos de luz que recibe, y para representar las imágenes de los objetos que se pone delante de él: tales son los espejos de metal y los de cristal azogado. Estos últimos son de uso mas freqüente, á causa de que tienen un pulimentado mas hermoso y mas durable; pero se halla en ellos un defecto que no permite emplearlos en los instrumentos de catóptrica, tales como los telescopios, &c. en donde se necesita una grande exâctitud; cuyo defecto es el de representar quasi siempre dos imágenes de un mismo objeto; la una feble por la superficie anterior, y la otra mucho mas fuerte, por el azogado que cubre la superficie posterior. Supongamos la llama *a* (*fig.* 165) de una vela colocada delante de un espejo *b c*; y que de un punto de esta llama salen dos rayos *a d*, *a e*, que caen sobre el espejo, el uno en *d*, sobre la superficie anterior de él *b c*; y el otro penetran-

Digitized by Google

do hasta *e*, en la superficie posterior *f g*. Este último se reflexará hácia *b*, y formará una imágen fuerte; y el otro se reflexará hácia *i*, en donde formará una imágen feble, tanto mas distante de la primera, quanto mas considerable sea el grueso *b f* del espejo. Lo que decimos de un sólo punto, puede decirse de todos los puntos del objeto; cuyas dos imágenes enteras, anticipándose por esto la una sobre la otra, harian la vision muy poco distinta en un instrumento de catóptrica; y he aquí la razon de no emplearse espejos de cristal en estos instrumentos. Sucede algunas veces que se ve un número mayor de imágenes, sobre todo quando se mira obliquamente la llama de una vela en un espejo de cristal; cuyas imágenes son producidas por los rayos, que despues de haber sido reflexados por la superficie posterior azogada, no salen todos, sino que una parte se reflexa hácia lo interior del grueso del espejo, por las partes sólidas de la superficie anterior de él, desde adonde es reflexada de nuevo por la superficie posterior, lo que produce una nueva imágen mas feble que la precedente, á causa de estar formada por un número menor de rayos. De este modo se forman muchas imágenes de seguida por las reflexiones reiteradas de los rayos en lo interior del espejo, cuyas imágenes van siempre debilitándose.

1235 Se pueden dividir los espejos en *espejos planos*, *espejos convexôs*, *espejos cóncavos y espejos mixtos*: entre los espejos planos se puede colocar los *prismáticos* y los *piramidales*, por no estar compuestos mas que de superficies planas, inclinadas las unas á las otras: entre los espejos cóncavos se puede colocar los *elícticos* y los *parabólicos*, cuyas superficies estan compuestas de líneas curvas, como lo son las de los cóncavos. Los espejos mixtos

Digitized by Google

son los *cilíndricos* y los *cónicos*, cuyas superficies estan compuestas de líneas rectas en una direccion, y curvas en la otra. Digamos algo de cada uno de estos espejos, y del modo con que representan las imágenes de los objetos colocados delante de ellos.

Del Espejo plano.

1236 En un espejo plano *a b* (*fig.* 166), la imágen de un objeto, puesto por exemplo en *c*, parece (al que se halle colocado en *d*) estar detrás del espejo *a b*, en la direccion *d e*, y siempre en la interseccion *e* del cateto de incidencia *c e* con el rayo reflexo *d e*; y por conseqüencia á una distancia *e* igual á la que el objeto *c* está colocado delante del espejo: luego se ve siempre la imágen en el mismo sitio, qualquiera que sea el rayo reflexo que la haga percibir. Porque como los espejos planos no varían nada la disposicion de los rayos que caen sobre ellos (1221), los rayos divergentes que salen del punto *c* son reflexados hácia el sitio *d*, por el espejo *a b*, con el mismo grado de divergencia (1224); y tienen por conseqüencia su punto de reunion ficticio *e* á una distancia *a e* detrás del espejo igual á la distancia *a c*, á la qual está colocado por delante el objeto *c*.

1237 Por la misma razon no mudan nada en las figuras de las imágenes los espejos planos, como ni tampoco sus magnitudes aparentes. Porque los rayos convergentes *a b*, *c d* (*fig.* 167), saliendo de las extremidades del objeto *a c*, y cayendo sobre el espejo *f e*, son reflexados hácia el sitio *g* con el mismo grado de convergencia (1223); y por conseqüencia hacen ver la imágen *a c* baxo un ángulo igual á aquel, baxo el qual se hubiera visto desde el punto *b* el mismo objeto, sin la interposicion del espejo *f e*.

Digitized by Google

1238 De que cada punto de la imágen se ve detras del espejo á una distancia igual á la de este punto del objeto por delante (1236), se sigue que si el objeto *a c* está inclinado al espejo, se verá su imágen *i k* inclinada en direccion contraria. He aquí la razon de que para que los espejos en una habitacion produzcan buenos efectos, se necesita tener cuidado de colocarlos á ángulos rectos con los pisos, y bien paralelos á los muros, que yo supongo verticales.

1239 Si un objeto *a b* (*fig.* 168) está situado paralelamente á un espejo *c d*, y á la misma distancia que el ojo colocado en *e*, la línea de reflexîon *c d*, esto es, la parte del espejo sobre la qual caen los rayos *a c*, *b d*, &c. del objeto *a b* que se reflexan hácia el ojo *e*, será la mitad de la longitud del objeto *a b*, por la razon de que colocándose las imágenes detras del espejo á una distancia igual á la que se halla el objeto por delante (1236), los rayos *e f*, *e g*, estan cortados por el espejo *c d* á la mitad de su longitud, y por conseqüencia en el sitio en que su divergencia no es mas que la mitad de lo que seria á una distancia dupla. Así, para poder percibir un objeto entero en un espejo plano, es preciso que la longitud y la latitud del espejo sean la mitad de la longitud y de la latitud del objeto. De adonde se sigue que dadas la longitud y la latitud de un objeto que debe verse en un espejo, se tendrá tambien la longitud y la latitud que debe tener el espejo, para que el objeto colocado á la misma distancia de este espejo que á la que se halla el ojo, pueda ser visto enteramente.

1240 Se sigue tambien de aquí que, pues que la longitud y la latitud de la parte reflexante del espejo son subduplas de la longitud y de la latitud del objeto (1239), la parte reflexante de la superficie del

Digitized by Google

espejo, está con la superficie del objeto en la razon de 1 con 4. Y por conseqüencia, si en una cierta posicion vemos en un espejo un objeto entero, le veremos del mismo modo á otra qualquier distancia, sea que nos acerquemos al espejo, sea que nos retiremos, con tal que se acerque el objeto, ó se aleje en el mismo tiempo, y que esté siempre á la misma distancia del espejo que á la que se halla el ojo.

1241 Pero si nos alejamos del espejo, quedando siempre el objeto en el mismo sitio, entónces la parte de la superficie del espejo que debe representar la imágen del objeto, tiene que ser mayor que la quarta parte de la superficie del objeto; y por conseqüencia, si el espejo no tiene mas superficie que la quarta parte de la del objeto, no se podrá ver á este entero. Al contrario, si nos acercamos al espejo, quedando siempre el objeto en el mismo sitio, la parte reflexante del espejo será menor que la quarta parte de la superficie del objeto. En virtud de esto se verá, por decir así, mas que todo el objeto entero; y se podria disminuir el espejo hasta un cierto punto, sin que esto estorbase el ver el objeto en toda su extension.

1242 En general, para explicar con la mas grande facilidad los fenómenos de los objetos vistos en un espejo plano, no se necesita mas que este solo principio: *la imágen de un objeto vista en un espejo plano, está siempre en la perpendicular llevada desde el objeto á este espejo, y prolongada por detras de él; y esta imágen está otro tanto mas allá del espejo, quanto el objeto está retirado de él por delante.* Con el socorro de este principio, y de los primeros elémentos de la geometría, se hallará fácilmente la resolucion de todas las qüestiones que se puedan proponer sobre esta materia.

Digitized by Google

1243 La igualdad de los ángulos de incidencia y de reflexion en los espejos (1216) proporciona un método para medir alturas inaccesibles, por medio de un espejo plano. Colóquese para esto el espejo horizontalmente, como en *a* (*fig.* 169), y aléjese el observador hasta que pueda percibir el extremo superior de la altura que quiera medir, de la que el pie corresponda bien verticalmente á su vértice. Mídase la elevacion vertical *b c* del ojo del observador á la línea del horizonte ó del plano del espejo, así como la distancia *b a* del sitio en que se halla el observador *b* al punto de reflexion *a*, y la distancia *d a* desde el pie de la altura que se ha de medir hasta este mismo punto de reflexion. En fin, búsquese una quarta proporcional *d e* á las líneas *a b*, *b c*, y *d a*, y esta será la altura que se busca. En efecto, la igualdad de los ángulos de incidencia *e a d*, y de reflexion *c a b* (1216), hacen semejantes los triángulos *e a d*, *c a b*, que son rectángulos en *d* y en *b*; de adonde se sigue, que estos triángulos tienen sus lados homólogos proporcionales; y que así, *b a* está con *b c* en la misma relacion que *d a* está con *d e*, altura buscada.

Del Espejo prismático.

1244 El espejo prismático está compuesto de espejos planos, inclinados los unos á los otros, y que tienen cada uno la figura de un paralelógramo. Tal es el espejo representado en la *figura* 170. Este espejo tiene la propiedad de reunir en una sola imágen, y sin interrupcion, muchos objetos, ó muchas partes de un mismo dibuxo dispersas y separadas con unos espacios que estan, ó vacíos, ó llenos con otras figuras que no se representan en el espejo. Supongamos por exemplo, que esté compuesto el es-

Digitized by Google

pejo de quatro caras elevadas perpendicularmente al rededor de una base *a b c d e* (*fig.* 171); el ojo colocado á una cierta distancia, como en *f*, y elevado un pie poco mas ó ménos por cima del plano en donde se halla el espejo, recibirá, por los rayos *g a*, *b b*, *i b*, *k c*, &c. reflexados de los puntos *a*, *b*, *c*, &c. hácia *f*, todo lo que estará dibuxado en las faxas *g b b a*, *i k c b*, *l m d c*, y *n o e d*; y todo lo que no se halle comprehendido en estas faxas, no se verá en el espejo, con tal que el ojo no se mueva á derecha ni á izquierda: se podrá pues llenar de objetos extraños como se quiera todos los espacios que quedan entre estas faxas; y ocultar por este medio la figura, cuya imágen debe representar el espejo, y cuyas partes estan separadas por estos espacios; lo que hace muy difícil el acertar quales son estas figuras sin el socorro del espejo.

Del Espejo piramidal.

1245 El espejo piramidal está compuesto de espejos planos triangulares, inclinados los unos á los otros, de modo que los vértices de todos los triángulos tienen un punto comun de reunion, el qual forma el vértice de la pirámide. Tal es el espejo representado en la *figura* 172. Tiene este espejo, lo mismo que el prismático, la propiedad de reunir en una sola imágen, y sin interrupcion, muchos objetos dispersos, y separados por unos espacios que estan ó vacíos, ó llenos con otras figuras que no se representan en el espejo. Supongamos por exemplo que esté el espejo compuesto de quatro caras triangulares, y que *a*, *b*, *c*, *d* (*fig.* 173) represente la base del espejo. Lo que se haya dibuxado en los espacios triangulares *e*, *f*, *g*, *b*, se representará

Digitized by Google

en las partes correspondientes de la base *a*, *b*, *c*, *d*; y la imágen no comprehenderá nada de lo que se haya puesto en los espacios *i*, *k*, *l*, *m*, para interrumpir el dibuxo y estorbar el qué se perciba las relaciónes que tienen sus partes entre sí. Es preciso hacer atencion á que los rayos reflexos *l d*, *i d*, *e d*, &c. (*fig.* 174) hacen ver al ojo colocado en la prolongacion *d* del exe de la pirámide, los puntos *a'*, *b'*, *c'*, &c. del objeto en un órden opuesto *c*, *b*, *a*, al que tienen sobre el dibuxo; de modo que el punto *a'*, el punto *b'*, &c. van á reunirse para formar el centro de la imágen. Luego es preciso que todas las partes de la figura, que estan encerradas en cada uno de los triángulos *e*, *f*, *g*, *h* (*fig.* 173), esten colocadas inversamente, á fin que la imágen que se perciba en el espejo represente su objeto al natural.

Del Espejo convexô.

1246 La superficie de los espejos convexôs es esférica por lo regular. Tienen estos espejos la propiedad de esparcir los rayos de luz que reflexan (1225); á causa de que hacen divergentes los que son paralelos (1226); aumentan la divergencia de los que ya eran divergentes (1228): y disminuyen la convergencia de los que son convergentes, haciéndoles tambien algunas veces paralelos ó divergentes (1227). Veremos la prueba de esto, siguiendo la ley general establecida arriba (1219). Supongamos un objeto *a b* (*fig.* 175) colocado delante de un espejo convexô *d c*: de los dos manojos de rayos que salen de las extremidades del objeto, los rayos *a e*, y *b e*, que sin la interposicion del espejo hubieran ido á convergir en *e*, se reflexan ménos convergentes sobre la línea *e f*; los dos rayos

a g, y *b b*, que hubieran ido á convergir en *i*, se reflexan paralelos; los dos rayos *a k*, y *b l*, que hubieran ido á convergir en *m*, centro de la convexidad, se reflexan sobre ellos mismos á causa de su incidencia perpendicular, y son por conseqüencia divergentes; y todos los rayos que caen hácia la parte exterior de estos últimos, se reflexan aun mas divergentes.

1247 Los espejos convexôs hacen ver, del mismo modo que los planos, la imágen detras de ellos, y en una situacion conforme á la del objeto; pero esta imágen, 1.° es mas pequeña que el objeto. Esté el objeto *a b* (*fig.* 176) colocado delante del espejo convexô *c d*; los dos rayos *a e* y *b f*, que abrazan las extremidades del objeto, y que sin la interposicion del espejo, irian á convergir en *g*, se reflexan ménos convergentes (1227), y van á reunirse en *h*, formando juntos un ángulo mas agudo. Luego es preciso ver la imágen *k i* baxo una dimension mas pequeña, y tanto mas pequeña quanto el objeto está mas léjos del espejo.

1248 2.° Esta imágen se halla á mas corta distancia por detras del espejo que á la que se halla el objeto colocado delante de él. Sea *a* (*fig.* 177) un punto qualquiera de un objeto, de adonde salga un manojo de rayos divergentes que van á caer sobre el espejo; estos rayos se reflexarán mas divergentes (1228), y tendrán por conseqüencia su punto aparente de reunion *b* mas inmediato; lo que hace ver la imágen á una distancia mas corta por detras del espejo que á la que se halla el objeto por delante de él, aumentando estos efectos con proporcion á la convexidad del espejo. Veremos bien pronto (1252) que los espejos cóncavos tienen focos reales; que los espejos convexôs no tienen mas que un foco virtual ó aparente, y que este foco está de-

Digitized by Google

tras del espejo, á una distancia de él, igual á la mitad del radio de su convexidad.

1249 La imágen de un objeto de alguna magnitud y recto, colocado paralelamente ú obliquamente á la superficie de un espejo convexô, se representa en este espejo baxo una figura curva, por no estar todos los diferentes puntos de este objeto á iguales distancias de la superficie del espejo. El punto *n* por exemplo, del objeto *a b* (*fig.* 175) está mas cerca que todos los demas de la superficie del espejo, y los puntos extremos *a* y *b* son los mas distantes. Luego deben representarse detras del espejo á unas distancias proporcionales á las que estan colocados por delante, lo que hace que parezca curva la imágen.

Del Espejo cóncavo.

1250 La superficie de los espejos cóncavos es freqüentemente esférica, sin embargo de no ser esta la mejor curvatura que se les puede dar; pero las otras curvaturas serian muy dificiles de obtener de la destreza de los artífices: se hacen con todo algunas veces, aunque raras, espejos elícticos y parabólicos, de los que hablaremos mas adelante (1263 y 1264): ahora lo haremos solo de los esféricos.

1251 Los espejos cóncavos tienen la propiedad de reunir los rayos de luz que reflexan (1229); pues que hacen convergentes los que son paralelos (1230); aumentan la convergencia de los que son ya convergentes (1231); disminuyen por lo ménos la divergencia de los que son divergentes; y algunas veces los hacen paralelos y aun convergentes (1232); todos los quales efectos aumentan con proporcion á la concavidad del espejo.

1252 El punto en donde se reunen los rayos se

Digitized by Google

llama *foco*; pero este foco no es el mismo en toda suerte de rayos incidentes. Los rayos paralelos tales como *a b*, *c d* (*fig.* 178), se reflexan en el espejo cóncavo *e f*, y van á reunirse al punto *g*, distante del espejo una cantidad igual á la quarta parte del diámetro de la esfera de que es una parte este espejo; cuyo punto es el que se llama *foco de los rayos paralelos* ó el *verdadero foco del espejo*. Los rayos convergentes tales como *k b*, *l i*, se reflexan mas convergentes, y van á reunirse entre el foco de los rayos paralelos y el espejo, como por exemplo en *m*. En fin los rayos divergentes que salen de un punto mas distante del espejo que el foco de los rayos paralelos, tales como *n e*, *n f*, se reflexan convergentes, y van á reunirse á un punto mas distante del espejo que el foco de los rayos paralelos, como por exemplo en *o*. Pero si el punto de divergencia de estos rayos estuviese mas cerca del espejo que el foco de los rayos paralelos; si por exemplo, saliesen del punto *m*, se reflexarian divergentes, é irian, el uno de *b* hácia *k*, y el otro de *i* hácia *l*.

1253 Luego el foco de los rayos paralelos está á la quarta parte del diámetro de la esfericidad del espejo; el foco de los rayos convergentes está mas cerca del espejo que el de los rayos paralelos; y el foco de los rayos divergentes está mas distante de él.

1254 Los espejos planos como tambien los convexôs, hacen ver, segun lo hemos probado ántes (1236 y 1247), la imágen detras de ellos, y en una situacion conforme á la del objeto. Pero los espejos cóncavos no producen este efecto sino quando el objeto está colocado entre el foco de los rayos paralelos y el espejo; en cuyo caso es esta imágen mas grande que el objeto. Esté el objeto *a b*

Digitized by Google

(*fig.* 179) colocado delante del espejo cóncavo *c d*, y mas cerca de este espejo que el foco de los rayos paralelos. Los dos rayos *a e*, *b f*, que abrazan las dos extremidades del objeto, y que sin la interposicion del espejo irian á convergir en *g*, se reflexan mas convergentes (1231), y van á reunirse en *h*, formando juntos un ángulo mas grande; luego hacen ver la imágen *i k* mas grande que el objeto.

1255 A mas, esta imágen se halla á mayor distancia por detras del espejo, que á la que se halla el objeto colocado delante de él. Supongamos que *a* (*fig.* 180) sea un punto qualquiera de un objeto, colocado mas cerca del espejo que lo que lo está el foco de los rayos paralelos *b*, del qual punto sale un manojo de rayos divergentes que cayendo sobre el espejo se reflexan ménos divergentes (1229), y tienen por conseqüencia mas distante su punto ficticio *c*; lo qual hace ver la imágen por detras del espejo á mayor distancia que á la que se halla el objeto colocado delante de él.

1256 Pero si el objeto está colocado mas léjos del espejo que lo que lo está el foco *b* de los rayos paralelos, como por exemplo en *g* (*fig.* 180), los rayos *g e*, *g f*, muy poco divergentes quando llegan al espejo, se reflexan convergentes (1232), y van á trazar en *d* la imágen del objeto. De modo que si el ojo se retira hácia atras tanto como es necesario para que los rayos, despues de haberse cruzado formando la imágen, tomen el grado de divergencia conveniente, percibe la imágen *d* el observador entre el espejo y él. Está la razon de esto en que cada punto iluminado de un objeto se nos hace visible por un manojo de rayos divergentes (1188). Luego cesamos de verle si estos rayos se hacen paralelos ó convergentes; que es lo que sucede quando el objeto no se halla mas cerca del espejo que el fo-

Digitized by Google

co de los rayos paralelos: luego es preciso que el ojo se retire hácia atras del sitio *d* de la imágen, en donde los rayos, despues de haberse cruzado, comienzan á hacerse divergentes.

1257 Esta imágen está siempre en una situacion contraria á la del objeto: tal es la imágen *b a* del objeto *c d* (*fig.* 181). Está la razon de esto en que no podemos ver un objeto entero *d c*, á ménos que no se verifique en el ojo puesto en *e* una reunion de estos manojos de rayos divergentes *d g*, *c f*, que salen de sus extremidades (1188). Pero esta reunion no puede verificarse sino despues que estos manojos se hayan cruzado entre el objeto y el espejo; lo que no puede dexar de invertir la imágen.

1258 Sobre esta propiedad del espejo cóncavo; á saber, de representar la imágen del objeto delante de él y no detras, quando este objeto está colocado mas léjos del espejo que el foco de los rayos paralelos (1256), sobre esta propiedad pues, está fundada la construccion de los telescopios catadióptricos (1621); pues que no vemos en estos instrumentos otra cosa mas que la imágen formada delante del espejo,

1259 Pues que los rayos paralelos que caen sobre un espejo cóncavo, se reflexan en términos que se reunen hácia su foco (1252), los rayos solares que pueden caer sobre la superficie de un espejo cóncavo, pudiendo ser mirados como sensiblemente paralelos, deben pues reunirse hácia el foco de este espejo, y formar un espejo ustorio (1118).

1260 Pues que los rayos paralelos *a b*, *c d* (*fig.* 178), que caen sobre un espejo cóncavo *e f*, se reflexan de modo que se reunen en su foco *g* (1252); se sigue de aquí que rayos divergentes, que salen del foco *g* y caen sobre el espejo, se reflexan paralelos; lo qual proporciona un medio para dar una luz muy

Digitized by Google

fuerte á grande distancia, poniendo por exemplo una luz en el foco *g* de un espejo cóncavo; cuyos rayos que salgan de esta luz, cayendo sobre el espejo, se reflexarán paralelos, y formarán un largo cilindro de una luz muy viva.

1261 Si se recibiese este cilindro de luz sobre otro espejo cóncavo, los rayos que le componen, se reunirian en el foco de este espejo, y formarian en él un foco ardiente: este experimento se ha hecho muchas veces: se colocan dos espejos cóncavos el uno delante del otro y en situacion paralela, á una distancia de 25 á 30 pies: en el foco del uno se pone un carbon grande encendido que se aviva con un fuelle; y en el foco del otro se coloca un pedazo de yesca con un cebete de pólvora: los rayos que salen del carbon, y que se reflexan en el primer espejo, van á reflexarse despues sobre el segundo, y á reunirse en su foco, en donde encienden la yesca y el cebete.

1262 Si se coloca un objeto en el centro de un espejo cóncavo, todos los rayos que caen sobre el espejo se reflexan sobre sí mismos, porque siendo entónces la incidencia perpendicular, lo es tambien la reflexion (1216). Así un ojo colócado en el centro de un espejo cóncavo no verá otra cosa mas que á él mismo, pero confusamente, y en toda la extension del espejo.

Del Espejo elíptico.

1263 La superficie de un espejo elíptico es la misma que la de un esferoide elíptico. La propiedad de este espejo, que tiene, lo mismo que la elipse, dos focos, es de reflexar al uno de ellos todos los rayos que salen del otro, de modo que si se pone por exemplo en uno de sus focos una vela en-

Digitized by Google

cendida, se reune su luz en el otro foco. La construccion de un espejo de esta clase es muy dificil; motivo por el qual se hace muy poco uso de él.

Del Espejo parabólico.

1264 La superficie de un espejo parabólico es la misma que la de un conoide parabólico. La propiedad de este espejo es que los rayos que salen de su foco, y que caen sobre su superficie, se reflexan paralelamente á su exe; y recíprocamente, que los rayos que vienen paralelos al exe del espejo, caen sobre su superficie, como por exemplo los del *sol* que se reflexan á su foco. De adonde se sigue que un tal espejo, si estuviese bien hecho (cosa que es muy dificil), seria un excelente espejo ustorio.

Del Espejo cilíndrico.

1265 La superficie reflectente de un espejo de esta especie es cilíndrica: tal es el espejo representado en la *figura* 182. La superficie de este espejo está compuesta de líneas rectas en la direccion de su altura *a b*, y de líneas circulares en la direccion de su anchura *c d*; por cuya causa se le da el nombre de *espejo mixto.*

1266 Este espejo tiene la propiedad de producir á un mismo tiempo los efectos de los espejos planos, y los de los espejos convexôs. Supongamos que *a b* (*fig.* 183) sea su altura, y que un objeto *c' d'* esté echado delante de este espejo: todos los rayos que salen de los puntos c', e', f', g', d', que caen sobre la superficie *a b* del espejo, y que se reflexan hácia *b*, deberian representar las imágenes de estos diferentes puntos en *c*, *e*, *f*, *g*, *d*, como lo haria un espejo plano (1236); luego en esta direc-

Digitized by Google

cion no debe variar la dimension del objeto (1237); pero como en la otra direccion es curvo el espejo, supongamos que *a b c* (*fig.* 184) represente su anchura: los rayos *d a*, *f e*, *g i*, *h b*, *k n*, *l m*, *o c*, reflexados hácia *q*, hacen ver todos los puntos *d*, *f*, *g*, *h*, *k*, &c. del objeto en el espacio *r s*; lo que disminuye mucho, en esta direccion, la dimension de la imágen: propiedad del espejo convexô (1247). Lo mismo debe suceder con todos los puntos visibles que estan en las otras líneas 1 *t* 5, 2 *v* 6, 3 *x* 7, 4 *y* 8, concéntricas á la superficie del espejo. Luego es preciso que estas partes esten muy en grande en el dibuxo, para que la imágen se parezca á alguna cosa conocida.

1267 Y como el espejo convexô hace ver la imágen detras de él á menor distancia que á la que se halla el objeto por delante (1248), en lugar de estar inclinada esta imágen en *c d* (*fig.* 183), como lo hemos dicho ántes (1266), se halla elevada, como *d i*, y por conseqüencia mas inmediata: otra propiedad del espejo convexô (1248).

1268 Si el ojo se eleva, como por exemplo, hasta *k*, la altura de la imágen aumenta la cantidad *i l*; á causa de que el ángulo visual (1206) se hace por esto ménos agudo.

1269 En la mayor parte de los espejos cilíndricos la superficie curva es convexâ; sin embargo, se hacen otros cuya superficie es cóncava, los quales producen poco mas ó ménos los mismos efectos, con solo la diferencia de que siendo convexâ la superficie, se ve la imágen detras del espejo; y quando es cóncava se ve delante de él (1256); por la razon de que el objeto está siempre colocado á mayor distancia que el foco de los rayos paralelos.

1270 Si se presenta al sol un espejo cilíndrico

cóncavo, se verá reflexarse sus rayos, no en un foco, sino en una línea luminosa paralela al exe, y á una distancia poco mas ó ménos igual á la quarta parte del diámetro.

Del Espejo cónico.

1271 La superficie reflectente de este espejo tiene la forma de un cono: tal es el espejo representado en la *figura* 185. Está compuesta la superficie de este espejo de líneas rectas en la direccion de su altura *a b*, y de líneas circulares en la direccion de su anchura *c d*; pero de modo que todas las líneas rectas tienen un punto comun de reunion *a*, el qual forma el vértice del cono. Estas líneas de diferente especie son las que han hecho que se dé á este espejo el nombre de *espejo mixto*.

1272 Tiene este espejo lo mismo que el espejo cilíndrico (1266), la propiedad de producir á un tiempo los efectos de los espejos planos y los de los espejos convexos. Supongamos que *a b c* (*fig.* 186) sea la seccion vertical de un espejo cónico; y las dos líneas *a b* y *c b* dos de las líneas rectas que le componen, y que tienen un punto de reunion en *b*. Estas dos líneas, que representan dos espejos planos inclinados el uno y el otro, deben producir los efectos que ellos producirian: los rayos que salen de los puntos *d*, *e*, *a*, que caen sobre la superficie del espejo en los puntos *f*, *g*, *b*, y que se reflexan hácia el ojo colocado en *i*, deben representar estos puntos en la base del espejo, en un órden opuesto *d'*, *e'*, *a'*. Lo mismo se debe decir de los puntos *k*, *l*, *c*, representados en *k'*, *l'*, *c'*; así como de todos los que se hallan en las circunferencias de los círculos, de los que no se ve aquí mas que

Digitized by Google

las mitades *d o k*, *e n l*, *a m c*. Pero como no son rayos simples los que salen de cada punto, sino manojos de rayos (1186), los modifica el espejo, como lo hace un espejo convexo; en conseqüencia de lo qual, parece la imágen mucho mas pequeña que el objeto (1247), y mas cerca del ojo que lo que lo estaria si el espejo estuviese puramente recto (1248).

1278. Luego segun lo que acabamos de decir (1272), se debe ver en el centro de la imágen lo que está dibuxado en la circunferencia exterior *d o k*; y las extremidades de la imágen deben estar compuestas de lo que se halla en la circunferencia interior *a b c*.

1274. Y como la curvatura del espejo aumenta cada vez mas, al acercarse á la punta del cono, á causa de que los círculos que le componen van siempre disminuyendo de diámetro, se sigue que lo que ocupa mas sitio en el objeto, es propiamente lo que ocupa ménos en la imágen: he aquí por que estos objetos son muy difíciles de reconocer sin el socorro del espejo. Nadie podria conocer por exemplo, que el carton ennegrecido (*fig.* 187) debe representar en el espejo un corazon, á qualquiera que ponga el ojo en la prolongacion del exe del cono. Los puntos *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*, *g*, &c. de la circunferencia interior forman las extremidades de la imágen; y los puntos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 de la circunferencia exterior, van á reunirse en el centro de la imágen quasi en un punto único.

1275. Estos dos últimos espejos, el cilíndrico (1265) y el cónico (1271), no son de ninguna utilidad, y sí de pura curiosidad.

De los principios de la Dióptrica.

1276 La dióptrica es una ciencia que tiene por objeto los efectos de la luz refracta; es decir, que su objeto es el considerar y explicar los efectos de la refraccion de la luz, quando pasa por diferentes intermedios, tales como el ayre, el agua, el cristal, &c.; cuya refraccion de la luz es un desvío ó separacion que sufren sus rayos al pasar obliquamente de un intermedio á otro, de una resistencia diferente.

1277 Esta refraccion no se observa mas que en los intermedios transparentes: luego se debe concebir estos intermedios, sólidos ó fluidos, como si fuesen unas masas cuyos poros, alineados en toda suerte de direcciones, ó estan llenos de la materia de la luz, como lo han pensado *Descartes* y *Huygbens* (1177), ó pueden dexarla pasar en líneas rectas, como lo ha creido *Newton* (1178). Si esta materia está animada por un lado, transmite su movimiento al traves de una superficie á la otra.

1278 Hay dos condiciones absolutamente esenciales para que se refracte la luz: á saber: 1.° que pase de un intermedio á otro mas ó ménos resistente: 2.° que su direccion sea obliqua al plano que separa los dos intermedios.

1279 La cantidad de esta separacion ó desvío de los rayos de luz, no es la misma en todos los casos: ella depende, 1.° de la densidad mas ó ménos grande del nuevo intermedio al qual pasa el rayo de luz; en términos que quanto mas grande es esta densidad, todo lo demas igual, mas considerable es la refraccion.

1280 2.° Ella depende de la naturaleza del cuerpo refringente; de modo que si este es un cuerpo

Digitized by Google

grasiento, ó un espíritu ardiente, la refraccion es mas considerable que lo que seria, si se hiciese en un cuerpo de otra naturaleza, aun quando tuviese la misma densidad.

1281 3.° Ella depende del grado de obliqüidad de incidencia, con que cae el rayo sobre la superficie del nuevo intermedio; aumentando la refraccion con esta obliqüidad, y proporcionalmente á ella.

1282 Si un rayo de luz *a b* (*fig.* 188) pasa del ayre al agua en la direccion *a b*, perpendicular al plano *c d* que separa el agua del ayre, continúa su camino en la direccion *b e*, y no sufre refraccion alguna, á causa de que falta una de las condiciones absolutamente esenciales, que es la obliqüidad de incidencia (1278).

1283 Pero si el rayo *f b* pasa obliquamente del ayre al agua, en lugar de continuar su camino en línea recta en la direccion *b g*, toma la direccion *b h*, acercándose á la línea *a e* perpendicular al plano *c d* que separa los dos intermedios; de modo que su ángulo de refraccion *e b h* es mas pequeño que su ángulo de incidencia *a b f*.

1284 Si la incidencia fuese mas obliqua, la refraccion será mas considerable; pues que siempre es proporcional á la obliqüidad de incidencia (1281); de modo que en todos los casos en que los intermedios no varian, hay una relacion constante entre el ángulo de refraccion y el de incidencia. Luego si en un grado determinado de obliqüidad, el ángulo de refraccion es al de incidencia como 3 es á 4, en un grado de obliqüidad ó mas grande ó mas pequeño, estarán estos dos ángulos en la misma relacion.

De estos resultados se puede deducir las leyes generales siguientes:

Digitized by Google

1285 1.ª Ley. *Los rayos de luz se refractan siempre, quando pasan obliquamente de un intermedio á otro de una densidad, ó en general, de una resistencia diferente.*

1286 2.ª Ley. *Quando la luz se refracta pasando de un intermedio mas raro, ó en general mas resistente, á otro mas denso, ó en general ménos resistente, el ángulo de refraccion es mas pequeño que el de incidencia*; y vice versa.

1287 3.ª Ley. *Por muy grande ó muy pequeña que sea la refraccion, permanecen siempre en relacion constante los senos de los dos ángulos de refraccion y de incidencia, quando los intermedios son los mismos.*

1288 Los intermedios mas densos son freqüentemente los que parece que resisten ménos á la accion de la luz, y que hacen el ángulo de refraccion mas pequeño que el de incidencia (1279); y al contrario, los intermedios mas raros son los que parecen mas resistentes, á ménos que no sean unos cuerpos inflamables, tales como los aceytes y los espíritus ardientes.

1289 *Descartes* y *Fermat* consideráron la luz como un cuerpo de una magnitud sensible, y sobre el qual obran los intermedios del mismo modo que parece lo hacen sobre los demas cuerpos; y hallando que los intermedios que la luz atraviesa, hacian sobre ella efectos contrarios á los que debian resultar de los principios mecánicos, imagináron cada uno una hipótesis para acordar, en este caso, las leyes de la mecánica, de que no se puede dudar, y los efectos físicos que son quasi tan ciertos.

1290 Se sabe que quanto mas densos son los intermedios, mas resisten á los cuerpos que tienden á separar sus partes penetrándoles (124); pero en este caso, el ángulo de refraccion es mas grande

Digitized by Google

que el ángulo de incidencia (119); porque disminuyéndose la velocidad vertical del cuerpo por la resistencia del intermedio, influye mas la velocidad horizontal en la direccion de la diagonal que corre el cuerpo obedeciendo á estas dos fuerzas, en que se descompone su movimiento (162).

1291 Pero sucede todo lo contrario á los rayos de luz; pues quanto mas denso es el intermedio que atraviesan, mas excede el seno de incidencia al de refraccion: luego la velocidad vertical de los rayos se aumenta en este caso; sucediéndoles entónces todo lo contrario de lo que parece indican las leyes de la mecánica.

1292 Para acordar *Descartes* estas leyes con la experiencia qué no podia eludir, pretendió que quanto mas densos eran los intermedios, mas fácil era el paso que abrian á la luz. Pero esto era dar una razon de este fenómeno mas capaz para ponerle en duda que para explicarle.

1293 Viendo *Fermat* que la explicacion física de *Descartes* era imposible de admitir, quiso mejor recurrir á la metafísica y á las causas finales. Se reduxo pues á decir que era conveniente á la sabiduría del Autor de la naturaleza el hacer caminar la luz de un punto á otro por el camino de mas corto tiempo, pues que no va por el camino mas corto, que seria la línea recta: el mismo fundamento tiene este principio que el de *Descartes*.

1294 *Newton* tuvo mas facilidad en explicar este fenómeno, dándole por causa la atraccion; por manifestar este principio, que no es solamente el movimiento progresivo de la luz ménos retardado en el intermedio mas denso, como lo queria *Descartes*, sino que es realmente acelerado; verificándose esto en virtud de la atraccion del intermedio mas denso, quando le penetra.

Digitized by Google

1295 El rayo de luz no obra solamente sobre el intermedio refringente, y en el punto de incidencia, luego que llega á él; sino que la incurvacion del rayo comienza un poco ántes, aumentando á proporcion que se acerca al intermedio refringente, y aun en lo interior de este intermedio, hasta una cierta profundidad. Supongamos que *a b* (*fig.* 189) termine los dos intermedios *c* y *d*, de los quales el primero *c* sea el mas raro, por exemplo el ayre, y el segundo *d* mas denso tal como el cristal: la atraccion de los intermedios será aquí como sus densidades. Supongamos que *e f* sea el término hasta el qual se extiende la fuerza atractiva del intermedio mas denso *d* dentro del mas raro *c*, y que *g h* sea el término hasta el qual se extiende la atraccion del intermedio mas raro *c* en el intermedio mas denso *d*.

1296 Supongamos primero un rayo de luz *k i*, que cae obliquamente sobre la superficie que separa los intermedios, ó mas bien sobre la superficie *e f*, en donde comienza la accion del segundo intermedio *d*, que es el que atrae mas. Haciéndose toda la atraccion segun líneas perpendiculares al cuerpo atraente, luego que el rayo llegue al punto *i*, comenzará á apartarse de su direccion por una fuerza superior, que le atrae mas hácia el intermedio *d* que hácia el intermedio *c*, es decir, por una fuerza que le impelerá segun una direccion perpendicular á la superficie *a b*; de adonde dimana que se aparte el rayo de la línea recta á cada punto de su tránsito entre *e f* y *g h*, que son los límites dentro de los quales obra la atraccion: luego describirá una curva *i l n* entre estas dos líneas. (Se debe suponer trazada esta línea curva, aunque no se halle representada en la figura mas que por dos líneas rectas *i l*, *l n*, que forman un ángulo en *l*.) Pero habiendo pasado el rayo de la línea *g h*, se

Digitized by Google

halla ya fuera de la esfera de atraccion del intermedio *c* (1295); lo que hace que sea atraido igualmente en todas direcciones por el intermedio *d*, y que se avance por conseqüencia en línea recta hácia *o*, segun la direccion de la tangente á la curva *i l n*.

1297 Supongamos de nuevo que *c* sea el intermedio mas denso, *d* el mas raro, y *a b* la línea que los termina: sea *g h* la distancia á que extiende el intermedio mas denso *c*, su fuerza atractiva en el mas raro *d*: habiendo pasado el rayo *k i* el punto *i*, estará, á la verdad, en la esfera de la atraccion superior del intermedio mas raro *d*; pero como esta atraccion obra con ménos actividad que la del intermedio mas denso *c*, se alejará el rayo continuamente de su camino recto *k p*, y se acercará perpendicularmente hácia *e f*: luego estando impelido de este modo por dos fuerzas diferentes, tendrá un movimiento compuesto (168), por el qual en lugar de *i p*, describirá la curva *i l q*.

1298 Es preciso observar que la atraccion del intermedio mas denso, de *c* por exemplo, disminuye continuamente á proporcion que el rayo camina de *l* hácia el límite de la atraccion *g h*, á causa de que cada vez se halla un menor número de partes que obren; porque quanto mas se acerca el cuerpo á *g h*, mas se aleja del intermedio superior *c*, y mas por conseqüencia se debilita la atraccion de este intermedio. Esta es la razon de que el rayo describa una curva (168).

1299 Se debe tener presente que siendo muy pequeña la distancia entre *e f* y *g h*, límites de la atraccion, no se hace atencion á la parte curva del rayo, quando se trata de refraccion; sino que se considera esta curva como compuesta de dos líneas rectas *k l*, *l o*, ó *k l*, *l q*.

1300 Ahora ya se puede ver de qué modo se ex-

plica, por medio de la atraccion, todo lo que sucede con la luz en su paso de un intermedio á otro; porque (1294) aumentando el rayo su velocidad vertical en el intermedio mas denso *d* que él atraviesa, hasta que ha llegado al punto *n*, en donde las partes superiores é inferiores de este cuerpo obran igualmente sobre él; continúa entónces su camino con la velocidad adquirida, hasta que estando pronto á salir del intermedio, las partes superiores de él le atraen mas fuertemente que las partes inferiores: esto es fácil de ver, suponiendo, como lo hemos hecho (1297), que *c* es el intermedio mas denso, y *d* el mas raro; en cuyo caso, la velocidad vertical del rayo *i l*, que está pronto á salir del intermedio *c*, se disminuye continuamente, y la curva *i l q*, que describe en su salida es perfectamente igual y semejante á la *i l n* que hemos dicho (1296) describia en su incidencia, con tal que se suponga todavía paralelas las superficies que terminan el intermedio refringente; excepto que esta curva *i l q* está en una posicion opuesta á la de la primera *i l n* que habia descrito. En fin, al salir el rayo del intermedio mas denso, pasa por unos grados de retardacion que estan en la misma relacion y en el mismo órden, pero inversamente, que los grados de aceleracion que tuvo al entrar en él.

1301 *Newton*, que era tan superior en el arte de hacer experimentos, como en el de emplearlos con utilidad, exâminando la separacion ó desvío del rayo de luz en los diferentes intermedios, encontró que la atraccion exercida sobre las partículas de la luz, está en razon de la densidad de estos intermedios, si se exceptúa de ellos los que son grasientos é inflamables.

1302 Se deduce tambien del principio de la atraccion la causa de que se convierta la refraccion en

Digitized by Google

reflexion á una cierta obliqüidad de incidencia, quando el rayo pasa de un intermedio mas denso á otro que lo es ménos; porque en el tránsito del rayo *o l* de un intermedio mas denso *d* á otro intermedio *c*, que lo es ménos, la curva *n l i* que describe (1296), se reflexa hácia el intermedio mas denso *d* de adonde sale. Pero la proporcion entre su obliqüidad y la fuerza que le atrae hácia el cuerpo *d*, puede ser tal que llegue este rayo á estar en situacion paralela con la superficie *a b* del intermedio *d* que él abandona, ántes de haber salido de los límites *e f*, en los quales obra sobre él la atraccion de este cuerpo; y se ve que entónces debe volver hácia el intermedio refringente *d* de adonde salia, describiendo un pedazo de curva igual y semejante á la *l n*, que él habia descrito al salir; y por consequencia volver á tomar, despues de haber vuelto á entrar en el intermedio, la misma inclinacion que la que tenia ántes de salir de él.

1303 De adonde se sigue que quanto mas difieren en densidad los intermedios contiguos, ménos obliqüidad de incidencia se necesita para que comience la reflexion; siendo esto lo que prueba la experiencia; porque el caso en que los rayos se reflexan á la mas pequeña obliqüidad de incidencia, es aquel en que el espacio contiguo al intermedio refringente está purgado de ayre, y en que el vacío se acerca mas á ser perfecto. Esto es lo que se verifica en la máquina neumática, en la que, quanto mas se aumenta el vacío, mas prontamente se reflexa un rayo de luz.

1304 Se conoce fácilmente que quando el rayo *k l* pasa de un intermedio mas raro *c* á otro mas denso *d*, la refraccion no puede convertirse jamas en reflexion, qualquiera que sea la obliqüidad de incidencia; porque quando la luz va á abandonar el

Digitized by Google

intermedio ménos denso *c*, el otro *d*, que le está contiguo, comienza á obrar sobre ella, y aumenta su velocidad vertical (1294); por lo qual no puede jamas ser destruida esta velocidad en este tránsito, pues que se aumenta, al contrario, continuamente. Luego el rayo de luz no puede volver jamas hácia el intermedio ménos denso *c*.

1305 La explicacion que acabamos de dar (1294 *y siguientes*) quadra tan bien con los fenómenos, que es por lo ménos muy probable sea la causa de la refraccion de los rayos de luz la atraccion de los intermedios que ella atraviesa; pero no nos atrevemos á asegurarlo, á causa de que la atraccion, como tal, no está probada con bastante claridad.

1306 Sin embargo, se puede decir con verdad que hay una excepcion que disminuye un poco el valor de esta explicacion. Segun *Newton* (1301), y segun manifiesta la experiencia, la atraccion de los intermedios sobre la luz está en razon directa de sus densidades: pero no es ménos verdad, confesada tambien por el mismo *Newton*, que los espíritus ardientes y los aceytes, aunque ménos densos que el agua, atraen con mayor fuerza que ella los rayos de luz. ¿No se podria decir que así como los rayos de luz obran con mas fuerza sobre estos cuerpos que sobre los demas, para encenderlos; así tambien estos cuerpos, por su atraccion, obran con mas fuerza sobre los rayos de luz para refractarlos? Pero lo que mas confunde aun nuestra explicacion, es el que comparadas entre sí las fuerzas refractivas de cada uno de estos cuerpos inflamables, no siguen las relaciones de sus densidades, como me lo ha hecho ver la experiencia (véase *las Memorias de la Academia de las Ciencias año de* 1777, *pág.* 548); porque el aceyte volátil de trementina, que tiene una densidad menor que la del aceyte volátil

Digitized by Google

de espliego, y que la de los aceytes fixos de olivas y de almendras dulces, tiene no obstante una fuerza refringente mas grande. Del mismo modo, el aceyte volátil de ambar tiene una fuerza refringente mas grande que la del aceyte volátil de romero, que tiene mas densidad que él.

1307 Para trazar la imágen de un objeto, se necesitan siempre muchos rayos de luz que obren juntos. Pero estos rayos pueden estar diferentemente dispuestos relativamente los unos á los otros; pues que pueden ser paralelos entre sí, convergentes, ó divergentes; y las superficies de los intermedios refringentes pueden ser planas, convexâs, ó cóncavas. He aquí lo que sucede en estos diferentes casos, segun el principio y las leyes establecidas ántes (1282 *y siguientes*).

1308 1.° Supongamos que sea plana la superficie del intermedio refringente, y que este nuevo intermedio, al qual pasa la luz, sea mas denso ó ménos resistente (1288) que el intermedio de adonde sale.

1309 Los rayos paralelos al refractarse, conservan su paralelismo, sea al entrar en el intermedio refringente, sea al salir de él, con tal que las dos superficies del intermedio refringente esten paralelas entre sí. Los dos rayos *a b*, *c d* (*fig.* 190) despues de haberse refractado, acercándose á las perpendiculares *e*, *f*, se hallan paralelos, como lo estaban ántes; lo qual debe ser así, segun los principios establecidos arriba; porque encontrando el rayo *a b* la superficie *g h* del intermedio refringente, no debe continuar su camino en la línea recta *b i*; sino que debe sufrir un desvío ó separacion en el punto de contacto *b*, acercarse á la perpendicular *k e*, y llegar hasta *l*.

1310 En seguida saliendo del intermedio refrin-

Digitized by Google

gente, suponiendo la superficie *m n*, paralela á *g h*, debe ir á *o*, apartándose de la perpendicular *k e* tanto como se habia acercado á ella en su primera refraccion (1309), y hallarse así paralelo á la direccion *b i*, que él hubiera conservado si no hubiese encontrado el intermedio refringente.

1311 Pero no puede subsistir este paralelismo, si las dos superficies *a b*, *c d* (*fig.* 191) del intermedio refringente, estan inclinadas la una á la otra, porque las dos refracciones, al entrar en *e*, y al salir en *f*, se hacen en una misma direccion; y del punto *g* se ve el objeto *b* en *i*, fuera de su verdadero sitio.

1312 Los rayos convergentes se hacen ménos convergentes, al pasar de un intermedio mas raro ó mas resistente á un intermedio mas denso ó ménos resistente; y al contrario, aumentan su convergencia al pasar de un intermedio mas denso á otro mas raro. Véase la *figura* 192, en donde los rayos que deberian convergir en *a*, van á convergir mas léjos al entrar en el intermedio refringente *b c*; y al contrario, al salir de *d e*, van á convergir en *f* mas cerca que lo que lo hubieran hecho sin esta refraccion. Esto es tambien segun nuestros principios; porque encontrando los dos rayos convergentes *a b*, *c d* (*fig.* 193) la superficie *f g* del intermedio refringente, no continuan su camino hácia *e*, sino que se refractan acercándose á la perpendicular, y van á parar á *b i*; lo que les hace ménos convergentes.

1313 Al contrario, al salir de la superficie *l k*, se refractan alejándose de la perpendicular, y van á convergir en *m*, mas cerca que lo que se hubiera verificado sin esto.

1314 Los rayos divergentes se hacen ménos divergentes al pasar de un intermedio mas raro á

Digitized by Google

otro mas denso; y al contrario, aumenta su divergencia al pasar del intermedio mas denso al mas raro. Véase la *fig.* 194, en donde los rayos, que despues de haberse cruzado, se han hecho divergentes, disminuyen de divergencia en *a* al entrar por la superficie *b c* del intermedio refringente, y la aumentan al salir de este intermedio en *d e*. En efecto, encontrando los rayos divergentes *m i*, *m b* (*fig.* 193), la superficie *l k* del intermedio refringente, no continuan su camino hácia *n* y *o*, sino que se refractan acercándose á la perpendicular, y van hasta *d*, *b*; lo que les hace ménos divergentes.

1315 Al contrario, al salir de la superficie *f g*, se refractan alejándose de la perpendicular, y van hasta *a* y *c*, lo que les hace mas divergentes.

1316 2.° Supongamos que la superficie del intermedio refringente sea convexâ, y que este nuevo intermedio, al qual pasa la luz, sea mas denso, ó ménos resistente (1288) que el intermedio de adonde sale; por exemplo, que este último sea el ayre, y que el intermedio refringente sea el agua.

1317 Los rayos paralelos se hacen convergentes. Esto debe ser tambien así, segun nuestros principios; porque cayendo obliquamente los rayos paralelos *a b*, *c d* (*fig.* 195), sobre el intermedio refringente terminado por la superficie convexâ *b e d*, y estando sus obliqüidades en direccion contraria la una de la otra, deben tender estos rayos, al refractarse y al acercarse cada uno á la perpendicular *f b*, ó *f d*, á reunirse hácia el exe *g b*.

1318 Se debe observar que se reunen estos rayos al exe *g b* tanto mas cerca de la superficie refringente *b e d*, quanto mas distantes estan del exe los puntos sobre que caen; por la razon de que entónces es mas obliqua su incidencia (1281). Así el rayo *a b* se une al exe en *i*; y el rayo *k l* no se une á él hasta *b*.

Digitized by Google

1319 Si los rayos son ya convergentes, quando llegan á la superficie refringente convexâ, ó tienden á convergir precisamente en el centro de la convexîdad, ó su punto natural de convergencia se halla mas cerca de la superficie refringente que el centro de su curvatura, ó en fin tienden estos rayos á convergir de la otra parte de este mismo centro.

1320 En el primer caso no sufren los rayos desvío alguno: los *a b*, *c d* (*fig.* 196) convergen en *e*, como lo hubieran hecho sin la interposicion del cuerpo refringente; por faltar una condicion esencial para la refraccion, que es la obliquidad de incidencia (1278); así, tendiendo los rayos *a b* y *c d*, á convergir en *e*, centro de la convexîdad, son como otras tantas prolongaciones de los radios de esta convexîdad.

1321 En el segundo caso, á saber, aquel en que tienden los rayos á convergir mas cerca de la superficie refringente que lo que lo está el centro de su curvatura, se hacen los rayos ménos convergentes; pues que tendiendo el rayo *f d*, y otro que se suponga al otro lado del exe, á convergir en *i*, no convergen sino en *b*; por la razon de que dirigiéndose el rayo *f d* al punto *i* del exe *k g* mas cerca de la superficie refringente *b l d* que el centro *e*, acercándose á la perpendicular *c e*, se aleja de esta superficie, y va á unirse al exe hácia *b*

1322 En el tercer caso, á saber, aquel en que tienden los rayos á convergir de la otra parte del centro de la convexîdad del cuerpo refringente, se hacen los rayos mas convergentes; por la razon de que dirigiéndose el rayo *m d* (*fig.* 196) al punto *k* del exe *g k*, mas distante de la superficie refringente *b l d* que lo que lo está el centro *e*, acercándose á la perpendicular *e c*, se acerca á esta superfi-

Digitized by Google

cie, y va á unirse con el exe en *n*, que es el punto en donde convergiria con este rayo *m d n*, otro rayo que viniese del otro lado con el mismo grado de obliquidad de incidencia. Este es el caso que sucede mas freqüentemente.

1323 Si los rayos son divergentes, pierden por lo ménos, al llegar á la superficie refringente, una parte de su divergencia; lo qual puede llegar hasta hacerlos paralelos y aun convergentes. Al llegar los rayos divergentes *b a*, *b c* (*fig.* 197) á la superficie refringente *a d c*, no van á parar á *f* y *g*, sino que sufren cada uno una refraccion, que acercándoles á las perpendiculares *e a*, *e c*, les hace ir hácia *b* é *i*, disminuyendo con esto su divergencia.

1324 Si al llegar á la superficie refringente fueran los rayos mucho ménos divergentes, tales como los rayos *k a* y *l c*, que es el caso mas ordinario, los harian sus refracciones convergentes hácia *m*.

1325 Supongamos ahora que los rayos de luz pasen del intermedio denso al raro, y que este intermedio denso esté tambien terminado por este lado con una superficie convexa.

1326 Los rayos paralelos se hacen convergentes; porque al llegar los rayos paralelos *b a*, *d c* (*fig.* 198), á la superficie convexa *a e c*, en lugar de continuar su camino en líneas rectas hácia *f* y *g*, van alejándose de las perpendiculares *b i*, *b k*, á convergir en *l*.

1327 Los rayos convergentes se hacen mas convergentes. Sean los rayos *n o q*, *n c*, los quales, si no hubiese variacion de intermedio, irian hácia *o* y *p*, y de allí á reunirse á una distancia muy grande; pero mediante la refraccion que padecen, alejándose de las perpendiculares *b i*, *b k*, van á reunirse hácia *q*.

1328 Si los rayos son divergentes, ó su punto natural de divergencia sale del centro *b* de la convexidad *a e c*; ó sale de un punto, como *r*; mas cerca de esta convexidad que el centro *b* de su curvatura; ó en fin, sale de un punto, como *s*, que se halla mas distante de ella que este centro.

1329 En el primer caso, los rayos *b i*, *b k*, no sufren refraccion alguna; por la razon de que siendo radios de la convexidad *a e c*, no hay obliquidad de incidencia.

1330 En el segundo caso, saliendo del punto *r* los rayos *r a*, *r c*, no van ni hácia *t* ni hácia *u*, sino que alejándose de las perpendiculares *b i*, *b k*, se dirigen hacia *x* é *y*, con lo qual se hacen mas divergentes que lo que eran ántes.

1331 En el tercer caso, se hacen ménos divergentes los rayos divergentes *s a*, *s c*; á causa de que en lugar de ir hácia *z* y *z*, se cierran hácia *f* y *g*, alejándose de las perpendiculares *b i*, *b k*; pudiendo hacerse paralelos y aun convergentes, segun la mayor ó menor divergencia que tienen quando llegan á la superficie *a e c*.

1332 3.° Supongamos que la superficie del intermedio refringente sea cóncava, y que este nuevo intermedio, al qual pasa la luz, sea mas denso que el intermedio de adonde sale: sean aun estos dos intermedios el ayre y el agua.

1333 Los rayos paralelos se hacen divergentes; porque al llegar los rayos paralelos *a b* y *c d* (*fig.* 199) á la superficie refringente cóncava *b e d*, se refractan acercándose á las perpendiculares *f g*, *f h*; lo que les hace divergentes.

1334 Si los rayos son convergentes, quando llegan á la superficie refringente cóncava, pierden por lo ménos una parte de su convergencia, lo qual puede llegar hasta hacerlos paralelos y aun diver-

Digitized by Google

gentes; á causa de que dirigiéndose á convergir en *l* (*fig.* 199) los rayos *i b* y *k d*, se hacen ménos convergentes al refractarse y acercarse á las perpendiculares *f g*, *f b*; no reuniéndose hasta *m*. Si fuesen ménos convergentes podrá la refraccion hacerles paralelos y aun divergentes.

1335 Si los rayos son divergentes quando llegan á la superficie refringente cóncava, ó se halla precisamente su punto de divergencia en el centro de la concavidad, ó se halla mas cerca de la superficie refringente que lo que está el centro, ó se halla mas distante.

1336 En el primer caso, no sufren los rayos desvío alguno, por no tener obliquidad de incidencia; pues que siendo los rayos *c a* y *c b* (*fig.* 200) radios de esta concavidad, continúan su camino hácia *d* y *e*, como lo hubieran hecho sin la interposicion del intermedio refringente.

1337 En el segundo caso se hacen los rayos ménos divergentes. Porque en lugar de ir los dos rayos divergentes *f a* y *f b* (*fig.* 200) hácia *g* y *h*, van hácia *i* y *k*, acercándose á las perpendiculares *d c* y *e c*.

1338 En el tercer caso, que es el mas freqüente, se hacen los rayos más divergentes; porque dirigiéndose los rayos *l a* y *l b* (*fig.* 200) hácia *m* y *n*, van á parar á *o* y á *p* por la refraccion que sufren acercándose á las perpendiculares *d c* y *e c*, y haciéndose por esto mas divergentes que lo que eran ántes.

1339 Supongamos ahora que los rayos de luz pasen del intermedio denso al raro, y que este intermedio denso esté tambien terminado de este lado con una superficie cóncava.

1340 Los rayos paralelos se hacen divergentes. Porque llegando á la superficie cóncava *a e c* (*fig.* 201),

Digitized by Google

los rayos paralelos *f a*, *g c*, en lugar de continuar su camino en líneas rectas hácia *b* é *i*, se dirigen hácia *b* y *d*, alejándose de las perpendiculares *m k*, *m l*, lo que les hace divergentes.

1341 Si los rayos son convergentes, ó se dirige precisamente su punto de convergencia al centro *m* de la concavidad *a e c*; ó se dirige á un punto, como *n*, mas cerca de esta concavidad que lo que lo está el centro *m* de su curvatura; ó en fin, se dirige á un punto, como *o*, que está mas distante de la concavidad que este centro.

1342 En el primer caso no sufren refraccion alguna los rayos *k a*, *l c*, porque siendo prolongaciones de los radios *m a*, *m c* de la concavidad *a e c*, no hay obliquidad de incidencia.

1343 En el segundo caso, dirigiéndose á convergir los rayos *p a*, *q c*, en el punto *n*, mas cerca de la superficie cóncava *a e c* que lo que lo está su centro *m*, alejándose de las perpendiculares *m a*, *m c*, van á reunirse hácia *r*; lo que les hace mas convergentes que lo que eran ántes.

1344 En el tercer caso se hacen los rayos al contrario ménos convergentes. Porque los rayos *s a*, *t c*, que naturalmente se dirigen á convergir en el punto *o*, de la otra parte del centro *m* de la concavidad *a e c*, alejándose de las perpendiculares *m a*, *m c*, van á reunirse en *u*, mas léjos que lo que lo hubieran hecho sin su refraccion. Si los rayos fueran poco convergentes al llegar á la superficie cóncava *a e c*, podria la refraccion hacerles paralelos y aun divergentes.

1345 Al llegar los rayos divergentes á la superficie cóncava *a e c*, se hacen mas divergentes. Sean los rayos *x a*, *x c* divergentes desde el punto *x*, los que si no variasen de intermedio, irian hácia *y* y *z*; pero mediante la refraccion que padecen, alejándo-

Digitized by Google

se de las perpendiculares *m a*, *m c*, se dirigen hácia 1 y 2; lo que les hace mas divergentes.

1346 La relacion del seno del ángulo de incidencia con el seno del ángulo de refraccion es constante, quando los intermedios son los mismos (1284). Si la refraccion se hace del ayre al cristal, parece esta relacion mas grande que la que hay entre 114 y 76, pero menor que la de 115 á 76; es decir, como 3 á 2, sobre muy corta diferencia. Hay á la verdad alguna diferencia en la cantidad de refraccion, segun las diferentes especies de cristal; pero no se necesita absolutamente una exáctitud muy grande.

1347 Si se hace la refraccion del ayre al agua de lluvia ó destilada, encontró *Descartes* ser la relacion del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refraccion, como 250 á 187, es decir, como 4 á 3 sobre muy corta diferencia; y *Newton* la ha indicado como 529 á 376; que es la misma poco mas ó ménos.

1348 Pues que la relacion del seno del ángulo de incidencia al seno del ángulo de refraccion es, del ayre al cristal, como 3 á 2 (1346), y del ayre al agua, como 4 á 3; si la refraccion se hace de un modo contrario, á saber, del cristal ó del agua al ayre, será esta relacion, en el primer caso, como 2 es á 3, y en el segundo, como 3 es á 4.

1349 Un rayo de luz que cae sobre una superficie curva, sea convexá ó cóncava, se refracta del mismo modo que si cayese sobre un plano tangente á la curva, en el punto de incidencia; por la razon de que la curva y la superficie plana que la toca, tienen una porcion infinitamente pequeña comun á las dos. Luego quando un rayo de luz se refracta en esta pequeña parte, es lo mismo que si sufriese una refraccion en el plano tangente.

Digitized by Google

1350 Segun lo que hemos dicho (1307 *y siguientes*), es fácil de explicar las apariencias de los objetos vistos al traves de diferentes intermedios. Pues que los rayos divergentes *a b*, *a c* (*fig.* 202) aumentan de divergencia al pasar de un intermedio denso á uno raro, terminados por una superficie plana (1315), se sigue que tienen su punto de reunion aparente *e* mas cerca que el verdadero *a*. Luego si el ojo está colocado en el intermedio raro, le parecerán mas cerca, que lo que estan en realidad, los objetos colocados en el intermedio denso. De aquí viene el que nos parezca elevado el fondo de un estanque lleno de agua; y tambien el que los peces y otros objetos que estan sumergidos en el agua nos parezcan mas cerca de la superficie que lo que estan en efecto: y si el objeto es un poco grande, parece que sus extremidades estan mas inmediatas, lo *que* le hace parecer curvo.

1351 Y como los rayos convergentes *d f*, *b g*, aumentan de convergencia, al pasar de un intermedio denso á uno raro, terminado por una superficie plana (1313), se sigue que se reunen mas cerca, como en *i*, y que hacen ver el objeto *d h* baxo un ángulo *l i m*, mas abierto, y por consegüencia le hacen juzgar mas grande: tambien aparecen los peces, las piedras, las plantas, &c. mas grandes en el agua que en el ayre.

1352 Pero como sucede lo contrario quando pasan los rayos de un intermedio raro á uno denso, y como, en semejante caso, se hacen los rayos divergentes ménos divergentes (1314), y los convergentes ménos convergentes (1312), se sigue que los objetos colocados en el intermedio raro deben parecer al ojo, colocado en el intermedio denso, mas distantes y mas pequeños que lo que son: de este modo es como los peces, que se hallan sumergi-

Digitized by Google

dos en el agua, ven los objetos colocados en el ayre.

De las Lentes.

1353 Los cristales convexôs ó las lentes, esto es, los cuerpos transparentes trabajados por los dos lados en forma de esferas, ó lo que es lo mismo, terminados por una y otra parte por una superficie esférica convexâ, tienen la propiedad de reunir los rayos de luz que los atraviesan; es decir, que hacen convergentes los rayos paralelos (1317 y 1326), que aumentan la convergencia de los rayos ya convergentes (1320 y 1327), y que, por lo ménos, disminuyen la divergencia de los rayos divergentes; lo qual puede llegar hasta hacerlos paralelos, y aun convergentes (1323 y 1331). De modo que despues de haber sufrido las dos refracciones, la una al entrar, y la otra al salir del cristal convexô, se reunen los rayos de todas especies, sean paralelos, convergentes, ó divergentes, formando ángulos mas abiertos, y haciendo por consequiencia ver las imágenes de los objetos mas grandes (1206) que los objetos mismos. Los rayos paralelos *a b*, *c d* (*fig.* 203), que sin las refracciones no se reunirian jamas, atravesando la lente *b d*, se reunen en *e*, foco de los rayos paralelos. Los rayos convergentes *f b*, *g d*, que sin la refraccion irian á reunirse en *l*, atravesando la lente, se reunen en *h*, y forman un ángulo mas abierto. Los rayos divergentes *i b*, *k d*, que sin la refraccion irian apartándose siempre, atravesando la lente, van á reunirse en *h*. Luego la porcion *i k* del objeto aparece baxo el ángulo *f l g*, y por consequiencia de la magnitud *f g*, &c.

1354 La imágen del objeto aparece detrás de la lente, en un sitio mas distante de aquel en donde el

objeto está colocado; lo qual proviene de que saliendo los rayos de cada manojo, de cada punto del objeto (1188), se hacen con las refracciones ménos divergentes (1323), y tienen por esto mas distante su punto aparente de reunion. Luego el punto *a* (*fig.* 204), visto al traves de la lente *c b*, parecerá estar en *d*.

1355 Pero para que la imágen del objeto se vea detras de la lente, se necesita que el objeto esté colocado mas cerca de la lente que el foco *e* (*fig.* 203) de los rayos paralelos; porque si el objeto estuviera en *e* (*fig.* 204) mas léjos que el foco de los rayos paralelos, siendo muy poco divergentes los rayos de cada manojo, al llegar á la superficie *c* de la lente, se harian, atravesándola, paralelos, y aun convergentes (1324), y no tendrian punto de reunion aparente: luego no se veria la imágen detras de la lente.

1356 Pero si estos rayos se hacen convergentes, puede hacerse ver esta imágen entre la lente y el ojo. Supongamos que *a* (*fig.* 205) sea el foco de los rayos paralelos de la lente *b c*, y que se halle un objeto colocado en *d e*; siendo muy poco divergentes al llegar á la lente, los manojos de rayos *d c*, *e b*, que salen de cada punto de él, se hacen convergentes al atravesarla, y van á trazar en *f g* una imágen inversa que puede ser percibida por un ojo colocado en *h*, es decir, en el punto en que los rayos, despues de haber trazado la imágen cruzándose, han vuelto á tomar el grado de divergencia conveniente, y en el que todos los manojos de rayos que vienen de cada punto, pueden convenir en el mismo ojo.

1357 Tiene que estar necesariamente invertida esta imágen, á causa de que todos los manojos de rayos que se hayan cruzado entre el objeto y la len-

Digitized by Google

te, son los que pueden convergir despues en el mismo ojo.

1358 Esta propiedad de las lentes de formar delante de ellas imágenes de los objetos distantes, es el principio sobre que está fundada la construccion de los telescopios dióptricos, como lo veremos mas adelante (1572); á causa de que en un telescopio de esta especie son el objeto inmediato de la vision las imágenes, y no los cuerpos.

1359 Las lentes hacen entrar en el ojo rayos de luz que no entrarian en él sin ellas, á causa de que hacen la luz ménos divergente (1353). Esta es la razon de que estas lentes nos hagan ver los objetos con mas claridad; pero por otra parte, hay muchos rayos reflexados ó esparcidos al entrar, al salir, y en el grueso del cristal; lo que disminuye algunas veces la claridad, mas que lo que le aumenta la reunion de los rayos.

1360 Lo que se mira al traves de una lente parece algunas veces disforme; que es lo que sucede sobre todo quando el objeto es grande, y la lente muy convexa; por no ser entónces iguales en todos los puntos los efectos de la refraccion; á causa de la diferencia de obliquidad de incidencia en cada rayo (1281), que nace de la curvatura de la superficie; y porque estando colocados á diferentes distancias de ella (1249) los diferentes puntos del objeto, los rayos que salen de él, llegan con diferentes grados de divergencia, siendo ménos divergentes los que vienen de mas léjos (1186). Las mismas causas pueden hacer ver confusamente ciertas partes del objeto, en tanto que otras se ven distintamente; lo qual se percibe, sobre todo, en las extremidades de la imágen, quando las lentes son de un foco muy corto; á causa de que las refracciones de las ori-

Digitized by Google

llas de la lente no concurren con las de enmedio.

1361 Tampoco es la curvatura esférica que se da á todas las lentes la mas á propósito para hacer convergir los rayos en un espacio el mas pequeño; pues que si se presenta un plano en el sitio en que se cruzan los rayos, se observa que forman allí un círculo pequeño, que tiene tanto mas diámetro, quanto mayor es el de la misma superficie esférica que recibe los rayos incidentes; y á esto es á lo que se llama *aberracion de esfericidad*: la curvatura parabólica ó hiperbólica seria mas conveniente para reunir los rayos; pero es muy difícil obtenerla de la habilidad de los artistas; y aun con ella no se conseguiria esto, pues que todos los rayos de la luz no son igualmente refrangibles, como lo veremos mas adelante (1392 y 1422).

1362 Pues que los rayos que pasan por las orillas de la lente, no concurren con los que pasan hácia el exe (1360), se hace de modo que no se necesite de todos á un tiempo, á ménos que la lente no sea acromática (1645); para lo qual se cubre por lo regular las orillas de la lente, por ser los rayos que pasan hácia el exe los que forman la imágen mas clara y mejor terminada. Hay pues una grande diferencia entre los efectos de las lentes, relativamente á la óptica, en donde se escogen los rayos que pasan hácia el exe, y sus efectos relativamente á la fuerza para quemar los cuerpos; en cuyo caso son los rayos de las orillas los que producen mayor efecto (1120), y los que se debe procurar recoger.

De las Lentes cóncavas.

1363 Las lentes cóncavas, es decir, aquellas que estan terminadas por una y otra parte con una su-

Digitized by Google

perficie esférica cóncava, tienen la propiedad de dispersar los rayos de luz que las atraviesan; esto es, que hacen divergentes los rayos paralelos (1333 y 1340), que aumentan la divergencia de los rayos ya divergentes (1338 y 1345), y que disminuyen por lo ménos la convergencia de los rayos convergentes; pudiendo llegar hasta hacerlos paralelos, y aun divergentes (1334 y 1344); lo qual sucede en todos los casos, despues de haber sufrido ya los rayos las dos refracciones una al entrar y otra al salir de la lente cóncava. Tambien producen estas lentes tres efectos notables.

1364 1.° Hacen ver los objetos mas pequeños que lo que son; porque saliendo los rayos *a b*, *d c* (*fig.* 206) de las extremidades del objeto *a d*, los que sin la interposicion de la lente cóncava *b e f c* irian á reunirse en *g*, despues de sufridas las dos refracciones al atravesar la lente, no van á reunirse sino en *h*; y hacen ver por conseqüencia el objeto *a d* baxo el ángulo *i b k*, mas pequeño que el ángulo *a b d*, baxo el qual se veria el objeto si no estuviese interpuesta la lente. Es verdad que hay casos en que los rayos pueden, despues de la primera refraccion en *b* y en *c*, conservar un grado de convergencia que tienda á reunirlos mas cerca de la lente que lo que lo está el centro de la concavidad *e l f* (1341); en cuyo caso se haria la segunda refraccion en direccion contraria de la primera, y tenderia á hacerlos mas convergentes (1343): pero como la incidencia de los rayos en *m* y en *n* no puede ser jamas tan obliqua como en *b* y en *c*, la segunda refraccion es necesariamente mas débil que la primera, y de consiguiente incapaz de compensarla. De adonde se sigue que en todos los casos debe parecer la imágen mas pequeña que el objeto.

1365 2.° Hacen ver el objeto mas cerca que á la

Digitized by Google

simple vista. La distancia de un objeto, por exemplo *a* (*fig.* 207), la juzgamos en el punto de reunion, verdadero ó aparente, de los rayos divergentes que componen los manojos que vienen de cada punto del objeto (1189): pero estos rayos divergentes se hacen mas divergentes al atravesar la lente cóncava (1338 y 1345); luego su punto de reunion aparente está mas cerca como en *f*. Si los rayos en su incidencia sobre la lente cóncava, conservan su divergencia (1336), por estar su punto de divergencia en el centro de la concavidad, pierden una parte de ella (1337), como lo hacen los rayos *a b*, *a c* (*fig.* 207). Haciéndose la refraccion que sufren en *d* y en *e* al salir de esta lente (1345), en direccion contraria de la primera, y siendo mas grande á causa de la mayor obliquidad de incidencia (1281), hace mas que compensar esta pérdida, y dexa los rayos mas divergentes que lo que eran ántes: luego se ve la imágen en *f*, y por conseqüencia mas cerca.

1366 3.° Hacen ver el objeto con ménos claridad, á causa de que se aumenta la divergencia de la luz (1363): luego no entra tanta en la pupila como entraria sin la lente. Todas estas lentes tienen un foco virtual; el que, si la lente es cóncava por los dos lados, se halla á una distancia de ella igual á la mitad de la suma de los dos radios de las dos concavidades. Pero si la lente no es cóncava mas que por un lado y plana por el otro, está su foco aparente á una distancia igual al diámetro de su concavidad.

De los colores.

1367 Son los colores unas propiedades de las diferentes partes de la luz, separadas las unas de las otras por refraccion, reflexion, ú de otro qualquier

Digitized by Google

modo, mediante las quales se excitan en nosotros diferentes sensaciones, segun la diferencia de su grado de refrangibilidad; y segun la magnitud, la figura, y tal vez el grado de velocidad del movimiento de sus partículas, quando vienen á hacer su impresion sobre el órgano destinado á hacernos percibir los colores.

1368 Hay gran diferencia de opiniones relativamente á los colores, entre los antiguos y los modernos, y aun entre las diferentes sectas de los físicos actuales. Segun la opinion de *Aristóteles*, que era la que se seguia en otro tiempo, se miraba el color como una qualidad residente en los cuerpos coloridos, é independiente de la luz; lo qual no puede ser, como veremos pronto.

1369 No estando satisfechos de esta opinion los Cartesianos, decian que, pues que no está aplicado inmediatamente el cuerpo colorido al órgano de la vista, para producir la sensacion del color, y que pues que ningun cuerpo puede obrar sobre nuestros sentidos sino por un contacto inmediato, era preciso pues que los cuerpos coloridos no contribuyesen á la sensacion del color mas que por medio de algun intermedio, el qual puesto en movimiento por su accion, transmitia esta accion hasta el órgano de la vista. Añadiéron que pues que los cuerpos no afectan el órgano de la vista en la obscuridad, es preciso que la sensacion del color sea solamente ocasionada por la luz, la qual pone el órgano en movimiento; y que los cuerpos coloridos no deben considerarse mas que como unos cuerpos que reflexan la luz con ciertas modificaciones; procediendo la diferencia de los colores de la diferente textura de las partes de los cuerpos que las hace propias para dar tal ó tal modificacion á la luz; como tambien de la diferencia del movimiento de las mismas partículas de la luz.

Digitized by Google

1370 Pero á *Newton* sobre todo es á quien debemos la verdadera teoría de los colores, la qual está fundada sobre experimentos seguros, y que dan la explicacion de todos los fenómenos. He aquí en lo que consiste esta teoría.

Teoría de los colores.

1371 La experiencia hace que se forme juicio de que los rayos de luz estan compuestos de partículas cuyas masas son diferentes entre sí: por lo ménos algunas de estas partículas tienen, como no se puede quasi dudar, mas magnitud y mas fuerza que las otras; por lo qual son mas capaces de conservar su velocidad, y por conseqüencia de ser ménos apartadas de su direccion natural; porque quando se recibe en un quarto obscuro un rayo de luz *a* (*fig.* 208) sobre un cuerpo refringente *a b g*, no se refracta todo entero este rayo en un punto *c*, sino que se divide y se reparte, por decir así, en otros muchos rayos, de los quales los unos se refractan hasta *c*, y los otros desde *c* hasta *e*: en términos que las partículas que tienen ménos fuerza, son á las que aparta mas la accion del cuerpo refringente *a b g* de su camino rectilíneo *f d*, para ir hácia *c*; y las otras á proporcion que tienen mas fuerza, se apartan ménos, pasando mas cerca de *e*, y alejándose ménos de su direccion natural *f d*.

1372 A mas, los rayos de luz que difieren mas en refrangibilidad los unos de los otros, son tambien los que difieren mas en color: esta es una verdad reconocida por una infinidad de experimentos. Las partículas mas refractadas, por exemplo, son aquellas que forman los rayos violados, lo qual, segun toda apariencia, es á causa de que teniendo estas partículas ménos fuerza, son tambien las que

Digitized by Google

mueven ménos el órgano de la vista, excitando ménos vibraciones en él, y afectándonos, por conseqüencia, la sensacion de color la ménos fuerte y la ménos viva, tal como lo es la del violado. Al contrario, las partículas que se refractan ménos constituyen los rayos del color encarnado, porque teniendo estas partículas mas fuerza, hieren el órgano con mas energía, excitan las vibraciones mas sensibles, y nos afectan la sensacion del color mas vivo, tal como lo es la del color encarnado.

1373 Separadas las otras partículas del mismo modo, y obrando segun sus fuerzas respectivas, producirán, mediante las diferentes vibraciones que excitarán, las diferentes sensaciones de los colores intermedios, así como las partículas del ayre excitan, segun sus diferentes vibraciones respectivas, las diferentes sensaciones de los sonidos (1022).

1374 Los colores de los rayos, así separados, no deben ser mirados como simples modificaciones accidentales de estas partes de rayos, sino como unas propiedades que les estan necesariamente unidas, y que consisten, segun todas las apariencias, en la masa, magnitud, y por conseqüencia en la fuerza de sus partículas. Luego deben ser inmutables é inseparables de estos rayos; es decir, que no pueden alterarse estos colores por refraccion ni reflexion alguna. Esto es lo que confirma la experiencia de un modo sensible; porque, á pesar de todo el esfuerzo que se haya hecho para separar, con nuevas refracciones, un rayo colorido y homogéneo qualquiera, dado por el prisma, no se ha podido conseguir.

1375 Es verdad que se ha hecho algunas veces descomposiciones aparentes de colores; pero esto no ha sido mas que colores que se han formado reuniendo rayos de diferentes colores; y no es de maravillar que entónces haga la refraccion encontrar los

Digitized by Google

rayos que se habia empleado para formar este color.

1376 Luego se puede decir que hay dos especies de colores, los unos primitivos, homogéneos y simples, producidos por la luz homogénea, ó por los rayos que tienen el mismo grado de refrangibilidad, y que estan compuestos de partes de una misma masa y de una misma fuerza; tales son el *encarnado*, *naranjado*, *amarillo*, *verde*, *azul celeste*, *azul turquí*, *violado*, y todos sus matices; los otros secundarios, heterogéneos, compuestos de los primeros, ó de la mezcla de rayos de diferentes refrangibilidades.

1377 Por medio de la composicion se puede producir colores secundarios semejantes á los colores primitivos en quanto al tono ó al matiz del color, pero no en quanto á la permanencia ó á la inmutabilidad. De este modo se forma el naranjado con el encarnado y el amarillo, el verde con el amarillo y el azul celeste, el azul turquí con el azul celeste y el violado, y en general con dos colores que no esten distantes el uno del otro. Pero quanto mas se compone un color, ménos vivo y perfecto es; y componiéndole cada vez mas, se llega á apagarle enteramente.

1378 Tambien se puede conseguir, por medio de la composicion, el formar colores que no se parezcan á ninguno de los de la luz homogénea. Pero el efecto mas singular que puede dar la composicion con los colores primitivos, es el de producir el blanco ó el resplandor de la luz solar; el qual se forma empleando, á un cierto grado, rayos de todos los colores primitivos. Esto es lo que hace que el color ordinario de la luz sea el blanco, á causa de que esta no es otra cosa mas que la reunion de los rayos de todos los colores mezclados entre sí.

Digitized by Google

1379 Atravesando los rayos del sol un prisma triangular *a b g* (*fig.* 208), pintan sobre la pared opuesta una imágen de diferentes colores *c e*, que son el encarnado, naranjado, amarillo, verde, azul celeste, azul turquí y el violado; cuya razon de esto está en que los rayos diferentemente coloridos, estan separados los unos de los otros por la refraccion (1371).

1380 La imágen colorida no es redonda, sino oblonga, y redondeada en sus dos extremidades; y su longitud es quasi igual á cinco veces su anchura, quando el ángulo del prisma es de cerca de 60 ó 65 grados; cuya razon de esto es el que esta imágen está formada por todas las imágenes circulares que da cada especie diferente de rayos, y que se anticipan las unas á las otras segun la fuerza de la refrangibilidad de estos rayos.

1381 Los rayos que dan el amarillo, se apartan mas de su camino rectilíneo que los que dan el encarnado; los que dan el verde mas que los que dan el amarillo, y así de seguida, hasta llegar á los que dan el violado, que son los que mas se apartan de todos.

1382 En conseqüencia de este principio, si se hace girar al rededor de su exe el prisma sobre el qual caen los rayos solares, de modo que el encarnado, naranjado, amarillo, &c. caigan sucesivamente sobre otro prisma fixo, colocado á una cierta distancia del primero, como por exemplo á 12 pies; y que los rayos de estos diferentes colores hayan pasado ántes, el uno despues del otro, por una abertura colocada entre los dos prismas; los rayos quebrantados que producirán estos diferentes rayos, no se señalarán todos en un mismo sitio, sino los unos encima de los otros, si el ángulo refringente está en lo baxo; porque siendo mas refrangibles los unos que

Digitized by Google

los otros, son mas quebrantados por el segundo prisma, como lo han sido por el primero.

1383 Este experimento simple, y sin embargo decisivo, es el que sirvió á *Newton* para hacer desaparecer todas las dificultades que le habian ofrecido los primeros; y el que le convenció enteramente de la correspondencia que hay entre el color y la refrangibilidad de los rayos de luz.

1384 Los colores de los rayos separados por el prisma, no pueden variar de naturaleza ni destruirse, aun quando pasen estos rayos por un intermedio iluminado, aun quando se crucen los unos con los otros (1204), aun quando se hallen inmediatos á una sombra espesa, y en fin, aun quando se reflexen ó rompan de un modo qualquiera; de adonde se deduce que los colores no son unas modificaciones debidas á la refraccion ó á la reflexion, sino unas propiedades inmutables, y unidas á la naturaleza de los rayos.

1385 Si por medio de una lente ó de un espejo cóncavo, se reune todos los diferentes rayos coloridos que da el prisma, se forma el blanco. Sin embargo, estos mismos rayos que, todos reunidos, han formado el blanco, dan, despues del punto de su reunion, esto es, de la otra parte del punto en donde se cruzan, dan, digo, los mismos colores que daban al salir del prisma, pero en un órden inverso, á causa del cruzamiento de los rayos. La razon de esto es clara; porque siendo blanco el rayo ántes de ser dividido por medio del prisma, debe serlo aun por la reunion de sus partes, que la diferencia de refrangibilidad habia separado las unas de las otras; y esta reunion no puede, en modo alguno, tender á destruir ó á alterar la naturaleza de los colores; luego deben estos comparecer despues del punto en que se cruzáron.

Digitized by Google

1386 Del mismo modo, si se mezcla en una cierta proporcion, color encarnado con naranjado, amarillo, verde, azul celeste, azul turquí y violado, se formará un color compuesto, que será blanquecino (esto es, semejante poco mas ó ménos al que se forma mezclando un poco de negro con blanco), y que seria enteramente blanco, si no se perdiesen y absorviesen algunas porciones de estos colores.

1387 Se forma tambien un color que se acerca al blanco, tiñendo una rueda de carton de estos diferentes colores, y haciéndola girar muy rápidamente, para que no se pueda distinguir en particular ninguno de estos colores.

1388 Si á un rayo solar dividido por el prisma (1379), y que forma entónces una imágen oblonga colorida (1380), se presenta un cristal grueso teñido con uno de los colores primitivos, y un poco obscuro, por exemplo un cristal encarnado, no pasará al traves de este cristal mas que el color encarnado, el qual formará una imágen redonda.

1389 Si se aplica uno sobre otro dos cristales gruesos y teñidos, el uno de encarnado, y el otro de verde, producirán una opacidad perfecta, aun quando cada uno de ellos, tomados separadamente, sea transparente; á causa de que no dexando pasar el uno de ellos sino los rayos encarnados, y el otro los rayos verdes, no puede llegar al ojo ninguno de ellos, quando estos dos cristales estan reunidos; porque no dexando pasar el primero, por exemplo, mas que rayos encarnados, el segundo no recibe ningunos rayos verdes, que son los únicos que puede transmitir.

1390 Si se hace caer muy obliquamente los rayos del sol sobre la superficie interior de un prisma, los rayos violados se reflexarán, y los encar-

Digitized by Google

nados, &c. serán transmitidos: si se aumenta la obliquidad de incidencia, se reflexarán tambien los azules, y los demas serán transmitidos; lo qual proviene de que los rayos que tienen mas refrangibilidad, son tambien los que se reflexan mas fácilmente.

1391 Si dos prismas se hallan colocados de modo que caigan, el encarnado de la una de las imágenes, y el amarillo de la otra, sobre una misma parte de un plano, parecerá la imágen naranjada: si se hace caer sobre el mismo punto el amarillo de la una, y el azul celeste de la otra, parecerá verde la imágen, &c. Pero si se mira estas imágenes al traves de un tercer prisma, separará en parte la refraccion los colores de ellas; de modo que la primera será encarnada en una extremidad, amarilla en la otra, y naranjada en el medio: la segunda será amarilla en una extremidad, azul en la otra, y verde en el medio; lo qual proviene de que los dos colores, de que cada imágen está compuesta, tienen unos grados diferentes de refrangibilidad (1375).

1392 Todos los cuerpos, pero principalmente los que son blancos, mirados al traves de un prisma, parecen como orilleados, paralelamente á la longitud del prisma, por un lado de encarnado y de amarillo, y por otro de azul y violado. Estas orillas son las extremidades de otras tantas imágenes del objeto, quantas son las diferencias de colores en la luz, las quales no caen todas en un mismo sitio, á causa de las diferentes refrangibilidades de los rayos.

1393 Quando los rayos que atraviesan una lente convexa (1317 y 1327) son recibidos sobre un plano ántes que se hayan reunido en el foco, parecen de color encarnado las orillas de la luz; pero si se re-

Digitized by Google

cibe estos rayos despues de su reunion, parecen azuladas; á causa de que refractándose ménos los rayos encarnados (1381), deben reunirse mas léjos, y por consequëncia estar mas cerca de las orillas, quando se coloca el plano ántes del foco; en lugar de que despues del foco, son al contrario los rayos azules los que se reunen los primeros; debiendo entónces dexar encarnados á los demas, y hallarse hácia las orillas (1423).

1394 La extension proporcional de los siete intervalos que contienen los siete colores de la imágen (1379), corresponde sobre corta diferencia á la extension proporcional de los siete tonos de la música; lo qual es un fenómeno muy singular; pero no debemos concluir de aquí que haya analogía alguna entre las sensaciones de los colores y las de los tonos; porque no solamente no es exácta esta proporcion, sino que á mas es diferente, segun las diferencias que se hallan en la naturaleza y en la densidad de los cristales de que estan hechos los prismas.

Esta teoría de *Newton* sobre los colores está fundada en una serie de experimentos que hizo, y de los que los principales son los siguientes:

I Experimento en que está fundada la teoría de los colores.

1395 Si por medio de un agujero hecho en el postigo de una ventana, se hace entrar en una pieza obscura un rayo solar *a d* (*fig.* 268), va á formar sobre la pared opuesta, ó sobre un plano blanco que se le presente, una imágen circular y grande simplemente luminosa, y sin mas color que el de la luz del sol.

1396 Pero si á este mismo rayo solar se le pre-

senta el ángulo *b* de un prisma, inmediatamente se eleva en una situacion quasi horizontal *g c*, con las circunstancias siguientes: 1.° Este rayo parece dilatado en forma de abanico (1371), y forma sobre el plano *b i* una imágen larga *c e*, redondeada en las extremidades (1380), y cuyos lados son sensiblemente rectilíneos.

1397 2.° La anchura de esta imágen iguala el diámetro del círculo luminoso que señalaria el rayo solar en *d*, si no encontrase el prisma (1395); de adonde se debe concluir que el rayo no se dilata sino en una direccion (1371).

1398 3.° Esta luz refractada se presenta en fajas diversamente coloridas (1372) desde el prisma hasta el plano *b i*; y la imágen *c e*, que se forma de ellas, tiene los mismos colores en el órden que sigue, de abaxo arriba, encarnado, naranjado, amarillo, verde, azul celeste, azul turquí, y violado (1376 y 1379).

1399 Esto debe hacer pensar que la luz es un fluido compuesto de partes esencialmente diferentes: 1.° por el grado de refrangibilidad: 2.° por la propiedad de excitar en nosotros la sensacion de diferentes colores. Esta es tambien la conseqüencia que ha sacado *Newton* de esto.

1400 De estas dos diferencias deben resultar los efectos de que acabamos de hablar: 1.° una imágen mas larga que ancha (1380 y 1397), por no dilatarse el rayo mas que en una direccion.

1401 2.° Una imágen redondeada por las extremidades (1380); lo qual proviene de que está formada de un número indefinido de imágenes circulares (1388), que se sobreponen las unas sobre las otras (1380), y de las que el muy grande número hace que los lados sean sensiblemente rectilíneos.

1402 3.° Que los colores que se observa en la

Digitized by Google

imágen *c e*, residen verdaderamente en la luz, pues que se les ve en faxas, desde el prisma hasta el plano *b i*.

1403 4.º Que los rayos una vez separados, se presenta cada uno baxo su color propio, del que se tiñen los objetos que iluminan.

1404 Luego hay en la luz siete especies de rayos (1376), capaces de hacernos sentir otros tantos colores, sin contar los que proporcionan todos los matices intermedios, que son en número indefinido.

1405 Es fácil asegurarse de que estas apariencias no son unas modificaciones accidentales, sino unas propiedades inherentes y constantes en la luz (1374). Preséntese al rayo ya refractado, como acabamos de decirlo (1396), otro prisma *a b* (*fig.* 209), pero situado en direccion contraria del primero; es decir, que su exe forme ángulo recto con el exe del primero. Si todos estos efectos no fueran causados mas que por una modificacion de la luz producida por el prisma, deberia hacer el segundo en anchura, lo que hizo el primero en longitud; de adonde deberia resultar una imágen quadrada *c d e f*; pero esto es lo que no se verifica; porque la imágen no sale mas que inclinada como *c f*; permaneciendo constantemente de la misma anchura, siendo siempre los mismos los colores, y semejantemente situados respectivamente los unos á los otros. La inclinacion de la imágen, que es la sola variacion que se observa en este caso, proviene de que los rayos que han sido mas quebrantados por el primer prisma, lo son tambien mas por el segundo *a b*: luego estos rayos conservan constantemente su grado de refrangibilidad, como tambien sus colores propios; los quales son inalterables, y pertenecen inseparablemente á los rayos que los conducen.

1406 Si se quiere ver sucesivamente todos los

Digitized by Google

círculos coloridos de que está formada la imágen, se presenta al rayo refractado unos cristales coloridos de los mismos colores de la imágen, bastante gruesos y obscuros en color (1388). Como cada uno de estos cristales no dexa pasar sino la especie de luz de la que el color es análogo á su transparencia, en lugar de una imágen larga, no se tiene en cada experimento mas que una imágen redonda, pero uniformemente colorida, y de la que el diámetro iguala al del círculo luminoso que no hubiese sufrido refraccion alguna. Para tener una imágen bien redonda se necesita, ántes de presentar el cristal colorido al rayo refractado, hacer girar el prisma sobre su exe, hasta que la imágen cese de descender para comenzar á subir.

1407 Como estos cristales coloridos dexan pasar algunas veces otros colores mas que los que les son análogos, por tener poco grueso, ó porque su color no es bastante obscuro, se tendrá mayor seguridad de ver sucesivamente todos los círculos coloridos, haciendo el experimento siguiente. Despues de haber refractado el rayo de luz por medio del prisma *a b c* (*fig.* 210), preséntese al rayo refractado, á alguna distancia el uno del otro, dos planos *d e*, *f g*, en cada uno de los quales haya un agujero pequeño *h*, *i*; y despues del segundo plano *f g*, un segundo prisma *k l m*, colocado en la misma direccion que el primero. Si se hace girar el primer prisma *a b c* sobre su exe (1382), y sucesivamente se hacen pasar todos los rayos refractados por los agujeros *h*, *i*, y por el prisma *k l m*, se verán otras tantas imágenes redondas, cada una del color del rayo que la produce; y recibiéndolas sobre un carton *n o*, se observará que la amarilla se coloca mas alto que la encarnada; que la verde se coloca mas alto que la amarilla; y así de las demas hasta la

Digitized by Google

violada, que se coloca á mayor altura que todas (1381); por estar estos colores mas quebrantados por el segundo prisma, en la misma relacion en que lo han sido por el primero.

1408 Si se presentan diferentes espejos al rayo ya refractado *g c e* (*fig.* 208), no variarán nada ni en los colores, ni en sus posiciones respectivas (1374 y 1384): el espejo plano los reflexa tales como son; el espejo convexô debilita la intensidad de los colores, amplificando la imágen; el espejo cóncavo estrecha la imágen hasta su foco, despues de lo qual la invierte y la agranda disminuyendo su resplandor; y el espejo cilíndrico da á la imágen la apariencia de un arco iris; en todas las quales variaciones se conservan los mismos los colores, y guardan siempre sus posiciones respectivas. Luego los rayos de luz tienen unos grados de refrangibilidad y unos colores inalterables.

1409 *Newton* observó tambien que los rayos mas refrangibles son asimismo los mas reflexíbles; es decir, que se reflexan mas pronto (1390). En efecto, si se recibe un rayo de luz sobre uno de los lados pequeños *a c* (*fig.* 211) de un prisma rectangular *a b c*, de modo que este rayo forme con la base *b c* del prisma un ángulo que sea poco ménos de 50 grados; una parte de este rayo no se refracta sensiblemente sino saliendo por *d*, y va á formar una imágen colorida sobre el plano *e f*; á causa de que en su entrada por el lado *a c* no hay quasi obliquidad alguna de incidencia (1278): la otra parte del rayo se reflexa en línea recta hácia *g* (1234); en donde se coloca otro prisma *b i k*, cuyo ángulo refringente *b* debe ser á lo ménos de 55 grados; y esta porcion de luz, refractándose en este prisma, va á formar una segunda imágen colorida sobre el plano *l m*. Si se hace girar el primer prisma *a b c*

sobre su exe (1390), de modo que el rayo incidente *n d* forme con su base *b c* un ángulo de cerca de 45 grados, la luz de la primera imágen *o p q* comienza á reflexarse hácia el otro prisma; pero los rayos violados y los azules *o* desaparecen los primeros, y van, despues de haber pasado por el segundo prisma, á aumentar el resplandor de estos mismos colores *r* en la segunda imágen *r s t*; en seguida desaparecen del mismo modo, de la primera imágen *o p q* los verdes, los amarillos, los naranjados, y en fin los encarnados, que se reflexan los últimos.

1410 Luego todos los rayos no son igualmente reflexíbles; y pues que los violados y los azules, que son los mas refrangibles (1372), son tambien los mas reflexíbles (1409), se deduce que la luz está compuesta de partes heterogéneas, de las que las mas refrangibles son tambien las mas reflexíbles.

1411 Si los grados de refrangibilidad y de reflexíbilidad son inalterables en cada color, igualmente son invariables los colores de cada rayo (1374). Para convencerse de esto se necesita sujetar á las pruebas siguientes un rayo bien homogéneo; y para obtenerle se necesita elegir el encarnado ó el violado que ocupan las dos extremidades de la imágen; por resultar esta imágen *a b* (*fig.* 212) de un conjunto de círculos de diversos colores, que se colocan los unos sobre los otros (1401): luego no hay mas que las dos extremidades que puedan proporcionar un color puro. Supongamos pues que se elige el rayo encarnado.

1412 1.° Se hace pasar este rayo por el ángulo de un prisma; y su imágen refractada por medio del prisma, permanece redonda y de un color uniforme, á causa de que siendo de un mismo color los filetes que la producen, son igualmente refran-

Digitized by Google

gibles: no sucederia lo mismo, si este fuese un rayo solar (1396 *y siguientes*).

1413 2.° Se hace pasar este rayo por una lente de 7 á 8 pulgadas de foco; y forma este rayo en el foco dos conos opuestos por su vértice, pero que son del mismo color en toda su extension. Luego la condensacion y la dilatacion no causan variacion ninguna en el color.

1414 3.° Se presenta á este rayo un cristal grueso de otro color; y ó no dexa pasar nada de él, ó si transmite una parte, la porcion que le atraviesa permanece encarnada. Luego no se modifica el color con el cristal (1374).

1415 4.° Se reflexa este rayo por medio de espejos de diferentes formas; los quales no hacen, á lo mas, sino extender ó estrechar esta luz, sin alterar nada su color (1408). Luego pertenece este color á la naturaleza de la luz.

1416 5.° Se hace caer este rayo sobre cuerpos diferentemente coloridos; el qual tiñe, de su color propio, todas las superficies que ilumina, de qualquier naturaleza que sean. Luego los colores pertenecen á la luz, y son inalterables á toda prueba (1402 y 1403).

1417 Para probar *Newton* todos los colores los unos despues de los otros, se manejó del modo siguiente: recibió el rayo de luz solar sobre una lente *a b* (*fig.* 213), colocada á 10 ó 12 pies de distancia del agujero de la ventana por donde entraba el rayo: detras de esta lente, en lugar de un círculo luminoso *c d*, se forma un cono, cuyo vértice está en *e*: pero colocando inmediatamente despues de esta lente un prisma *f g*, se refracta la luz en *b i*, en otros tantos conos quantas especies diferentes hay de colores en la luz; lo que da una imágen *b i* larga y estrecha, en la qual estan los colores con mu-

Digitized by Google

cha mas distincion que lo que lo estan freqüentemente. Porque en la imágen estrecha *c d* (*fig.* 212), estan tan distantes unos de otros los centros de los círculos coloridos, como lo estan en la imágen ancha *a b*; y como tienen un diámetro mucho menor, se anticipan tambien mucho ménos los unos sobre los otros; de adonde se sigue que los colores estan allí muy poco mezclados, y mucho mas distintos. De estos rayos coloridos, separados así, se sirvió *Newton* para exâminarlos todos, los unos despues de los otros.

Para hacer la imágen mas ancha, se hace pasar el rayo de luz por una abertura estrecha y larga, cuya longitud esté paralela á la del prisma. Pero es preciso que esta abertura no tenga mas que una línea de ancho: que la lente tenga un foco de cerca de 10 pies: que esté colocada á cerca de 13 pies del agujero de la ventana; y que el ángulo del prisma sea á lo ménos de 60 grados. Entónces es la pequeña imágen quasi 70 veces mas larga que ancha; y cada especie de luz es, en la misma proporcion, mas simple.

1418 Para hacer bien este experimento, se necesita que esté bien obscura la pieza; que el prisma y la lente esten bien trabajados; que sean de un cristal homogéneo y bien limpio, y cubrir con papel negro engrudado todas las partes inútiles al experimento, á fin de que no altere los efectos alguna porcion del rayo de luz refractada ó reflexada irregularmente.

1419 Pues que la mezcla del encarnado y del amarillo produce el naranjado (1377), y el naranjado, en la imágen colorida llamada *espectro solar*, se halla colocado entre el encarnado y el amarillo; pues que la mezcla del amarillo y del azul celeste produce el verde, y el verde se halla, en el espectro

Digitized by Google

solar, entre el amarillo y el azul celeste; y en fin, pues que la mezcla del azul celeste y del violado produce el azul turquí, y este último color se halla, en el espectro, entre el azul y el violado, se podria sospechar que el naranjado, el verde y el azul turquí no son colores primitivos, y que son producidos por la mezcla de los que estan inmediatos á ellos por una y otra parte. Pero *Newton* se aseguró de que estos tres colores son primitivos, como los otros quatro, con el experimento siguiente.

1420 Con el auxîlio de dos tubos colocados en el postigo de una ventana, se hace entrar en una pieza obscura, dos rayos de luz, cada uno de 3 líneas de diámetro; á los que se recibe á 10 ó 12 pies de distancia cada uno sobre una lente, *a*, *b* (*fig.* 214), detras de las quales se presentan dos prismas *c*, *d*, colocados en direccion contraria el uno del otro, es decir, de la parte de afuera sus ángulos refringentes; y un poco mas léjos se coloca un plano *e f* con dos agujeros *b*, *g* de 3 líneas de diámetro cada uno, y á la distancia de 8 pulgadas el uno del otro. Girando un poco los prismas *c*, *d*, y variando las posiciones respectivas del plano *e f* y del carton *i k*, se hace coincidir (1391), 1.° el encarnado de una de las imágenes coloridas, y el amarillo de la otra: 2.° el amarillo de la una, y el azul celeste de la otra; y 3.° el azul celeste de la una, y el violado de la otra; lo qual produce, 1.° una imágen naranjada *l*: 2.° una imágen verde: 3.° una imágen azul turquí. En seguida se procura obtener semejantes colores con las luces simples y homogéneas, tapando uno de los agujeros *b* ó *g*, y haciendo pasar sucesivamente, al carton *i k*, porciones de luz naranjada, verde y azul turquí, de uno de los dos espectros; tódas las quales imágenes se miran, las unas despues de las otras, al traves de

Digitized by Google

un tercer prisma *m*. Viniendo cada una de las imágenes producidas por la luz de un solo prisma, permanecen redondas y de un color uniforme en toda su extension, sea que se las mire al traves del tercer prisma *m*, sea que se las mire á la simple vista; y viniendo de los dos prismas á un mismo tiempo las imágenes compuestas de los colores, las que á la simple vista parecen de un color uniforme, se vuelven ovaladas quando se las mira por el prisma, y se ve que uno de los dos colores se halla contorneando al otro (1375). Luego hay razon suficiente para mirar como colores primitivos ó simples, al naranjado, verde y azul turquí de cada espectro solar producido por un solo prisma (1376).

1421 Hemos dicho ántes (1378) que la mezcla de todos los colores primitivos impide el que no sea aparente ninguno de ellos, y que produce el blanco ó el resplandor de la luz solar: he aquí la prueba. Recíbase sobre una lente *a b* (*fig.* 215) de 7 á 8 pulgadas de foco, un rayo de luz refractado por un prisma; el qual rayo de luz toma, al pasar por la lente, la forma de dos conos opuestos por sus vértices en el foco, los quales tienen todos los colores primitivos en toda su longitud, con la diferencia solamente de que la imágen permanece recta desde la lente hasta su foco, y que desde la otra parte de él está invertida. Si se coloca un carton blanco bien perpendicularmente al exe de los conos, y precisamente en el foco *c* de la lente, no se percibe en él mas que un círculo pequeño y sin color, producido por la mezcla bien proporcionada de todos los colores (1385): condicion absolutamente esencial; porque si se intercepta, con un naype, ú de otro modo qualquiera, una parte de los rayos coloridos, esta supresion ocasiona, sobre el círculo resplandeciente *c*, una mancha muy sensible. Lue-

Digitized by Google

go el blanco ó la luz sin color, tal como la que nos viene del sol, es el que contiene todos los colores simples, reunidos en una mezcla perfecta (1386 y 1387); y el negro puro no es mas que una privacion de toda luz, simple ó compuesta.

1422. Pues que los rayos que contienen colores diferentes, tienen grados diferentes de refrangibilidad (1372), se sigue que una misma lente, qualquiera que sea su curvatura, no puede reunir todos los rayos en su foco, á causa de que no los reune sino por medio de la refraccion (1353): luego hay otros tantos focos en seguida los unos de los otros, como especies de rayos hay diferentemente refrangibles, y á esto es á lo que se llama aberracion de refrangibilidad. *Newton* encontró que la distancia del primero de estos focos al último era bastante considerable para causar error sensible en la práctica; lo qual averiguó con el experimento siguiente.

1423. Tomó un quadrado de carton *a b* (*fig.* 216), cuya mitad *c a d* estaba pintada de azul, y la otra mitad *c d b* de encarnado: rodeó muchas veces, al rededor de este carton, una hebra delgada de seda muy negra: en seguida arrimó este carton, así colorido, y cubierto de seda negra, á una pared perpendicular al horizonte, de modo que el uno de los colores estaba á la derecha, y el otro á la izquierda: despues colocó, cerca del carton, y en los confines de los colores hácia la parte baxa, una grande luz para iluminarla bien (por deberse hacer este experimento en un sitio obscuro); despues de esto puso, á la distancia de 6 pies del carton, una lente de cristal *e f* de 4½ pulgadas de diámetro, y de 3 pies de foco, por medio de la qual reunió los rayos que venian de los diferentes puntos del carton, los hizo convergir hácia otros tantos puntos

Digitized by Google

á la misma distancia de 6 pies del otro lado de la lente, y pintar así la imágen del carton colorido sobre un papel blanco *b g*, colocado en este sitio perpendicularmente al horizonte, y á los rayos que caian encima viniendo de la lente. A la distancia *b g* de la lente, se veia muy distintamente la imágen de la mitad del carton pintada de encarnado *c d b*, á causa de que las líneas negras estaban allí bien terminadas; al contrario, se presentaba tan confusa la otra mitad pintada de azul *c a d*, que apénas se podian ver las líneas negras tiradas sobre esta mitad. Para ver distintamente esta mitad azul, fué preciso poner el papel en *i h* á una pulgada y media mas cerca de la lente *e f*; en donde la mitad azul *c a d* se veia muy distintamente, y las líneas negras estaban bien terminadas; pero la mitad pintada de encarnado *c d b* se presentaba muy confusamente, y las líneas negras eran apénas visibles (1393). Se ve que sobre un espacio tan pequeño no deja de ser considerable la diferencia de una pulgada y media.

1424 Esta diferencia la he encontrado yo mucho mayor en un experimento análogo á este, hecho muy en grande con la lente de espíritu de vino de *Trudaine*. (Véase *las Memorias de la Academia, año* 1774, *pág.* 67.) Los rayos encarnados se reunian á 10 pies, 3 pulgadas y 11 $\frac{1}{2}$ líneas del centro de la lente; y los azules á 9 pies, 7 pulgadas y 10 $\frac{1}{2}$ líneas; cuya diferencia 8 pulgadas y 1 línea, sobre 10 pies, 3 pulgadas y 11 $\frac{1}{2}$ líneas, es mucho mas grande que la de 1 $\frac{1}{2}$ pulgadas sobre 6 pies. Los rayos violados se reunian á 9 pies, 6 pulgadas y 4 $\frac{1}{2}$ líneas del centro de la lente; luego la diferencia es de 9 pulgadas y 7 líneas. Luego la lente objetiva de un anteojo no puede reunir en un mismo sitio mas que una parte de la luz, á mé-

Digitized by Google

nos que el objeto no sea de uno de los colores primitivos.

Si salen rayos paralelos de todas especies de un punto luminoso, el foco de los mas refrangibles, en el exe de una lente de cristal, está mas cerca que el de los ménos refrangibles quasi la 27 $\frac{1}{2}^{a}$ parte de la distancia del foco á la lente; y si la lente fuera de espíritu de vino, estaria cerca de la 14.ª parte.

Si el punto luminoso está, por un lado, tan cerca de la lente de cristal, como lo está, por el otro lado, el punto en donde se reunen los rayos, el foco de los mas refrangibles está mas cerca que el de los ménos refrangibles, mas de la 14.ª parte de la distancia.

El espacio mas pequeño circular en donde la lente de un telescopio puede reunir toda suerte de rayos paralelos, está á la 55.ª parte del diámetro de la abertura de esta lente; y si esta fuese de espíritu de vino, se verificaria á la 38.ª parte.

1425 Esta aberracion de refrangibilidad fué la que hizo abandonar á *Newton* el proyecto de perfeccionar los telescopios dióptricos, y la que le obligó á hacer su telescopio catadióptrico, del que hablaremos mas adelante (1625). La aberracion de esfericidad es muy pequeña en comparacion de esta; porque segun *Newton* (*Traité d' Optique*, *pag.* 107), la aberracion de esfericidad es á la aberracion de refrangibilidad, como 1 á 5449.

1426 Ya que en virtud de la refraccion de la luz en una lente, hay otros tantos focos en seguida los unos de los otros, como especies de rayos diferentemente refrangibles hay (1422), se sigue que no se puede determinar de una vez el foco de una lente, sino por una especie de rayos. Pero como el mas luminoso de los colores es el amarillo, debe

Digitized by Google

ser este principalmente el foco de esta especie de luz que se necesita determinar, y del que es preciso hacer uso; siendo por la refraccion de estos rayos por la que se debe medir la fuerza refractiva de la lente ó cristal para los usos de óptica. El seno del ángulo de incidencia de los rayos encarnados es, segun *Newton* (*Traité d' Optique*, *pag.* 6), al seno de su ángulo de refraccion en el agua, como 4 es á 3, y en el cristal como 17 es á 11. Se ve bien que el seno del ángulo de refraccion de los rayos amarillos es un poco mas pequeño, pues que son mas refrangibles que los encarnados (1381).

1427 De lo que acabamos de decir sobre los colores, se debe concluir, que son unas propiedades de la luz, á la qual pertenecen (1405 y 1416): que residen en ella con toda distincion en número de siete, con un número indefinido de matices intermedios (1376): que de las diferentes combinaciones de estas siete especies y de sus matices, se forman todos los demas colores: que la mezcla de todos bien proporcionada, no dexa que se manifieste ninguno de ellos, y forma el blanco ó el resplandor de la luz solar (1378); y en fin, que su privacion total forma el negro perfecto.

1428 Es fácil convencerse de que todos los colores y sus matices, que vemos en la naturaleza, resultan de las combinaciones de estas siete especies; por la razon de que estos siete colores pueden combinarse de 119 maneras; esto es, 2 á 2 producen 21 combinaciones; 3 á 3 producen 35; 4 á 4, 35; 5 á 5, 21; y 6 á 6, 7 combinaciones: sin contar las diferentes proporciones ó cantidades de cada uno, que dan matices al infinito.

1429 Por medio de estos principios se puede explicar todos los fenómenos que pertenecen á los colores.

Digitized by Google

1430 Si se mira al traves de un prisma un objeto un poco grande, sobre todo si es blanco, no se le ve colorido sino en las dos orillas que son paralelas á la longitud del prisma: estas dos orillas opuestas estan coloridas diferentemente; la una de encarnado, naranjado y amarillo; y la otra de azul celeste, azul turquí y violado; cuyos colores son las extremidades de otras tantas imágenes del objeto, quantos son, en la luz, los rayos diferentemente refrangibles (1392). Sea *a' b' c' d'* (*fig.* 217) un paralelógramo de carton blanco, al qual se mire al traves de un prisma *e' f' g'*: los rayos *c' t*, *d' t*, que salen de sus extremidades *c'* y *d'*, irian á reunirse en *t*, sin la interposicion del prisma *e' f' g'*; pero refractándose estos rayos por medio del prisma, no se refractan todos igualmente (1375); así, los encarnados van á reunirse en *u*; los violados en *x*; y los intermedios, entre estos dos puntos *u* y *x*, en otros tantos puntos, quantos son los rayos diferentemente refrangibles. Luego el ojo colocado de modo que reciba todos estos rayos, ve en la direccion de los rayos refractados la imágen *a o s p*, aumentada en altura en la cantidad *b s*, que es la que separan los rayos entre sí por la refraccion. Esta imágen está colorida en sus dos extremidades; á saber, en lo baxo, de encarnado entre *p* y *c*; de naranjado entre *c* y *d*; y de amarillo entre *d* y *e*; y hácia lo alto, de azul celeste entre *l* y *m*; de azul turquí entre *m* y *n*; y de violado entre *n* y *s*. Es fácil de ver que, como acabamos de decir, son estos colores las extremidades de otras tantas imágenes del objeto. Porque cada color ocupa una extension semejante á la del carton *a' b' c' d'* que recibe la luz del sol, pues que esta luz está compuesta de todos los colores (1379); luego el encarnado se extiende en la imágen, desde *p* hasta *b*; el naranjado

Digitized by Google

desde *c* hasta *i*; el amarillo desde *d* hasta *k*; el verde desde *e* hasta *l*; el azul celeste desde *f* hasta *m*; el azul turquí desde *g* hasta *n*; y el violado desde *b* hasta *s*.

1431 Esto explica claramente la razon de que solo se hallen coloridas las dos extremidades de la imágen, y de que el medio de ella permanezca blanco. Es claro, pues que acabamos de decirlo (1430), que los colores se anticipan mucho los unos sobre los otros, y que los hay de todas las especies en el intervalo *b b*, por lo qual es perfectamente blanco: en los pequeños intervalos *e b* y *b l*, faltan muy pocos; por lo qual permanecen aun blancos estos espacios, pero de un blanco ménos hermoso que el de enmedio; luego no hay mas que las dos extremidades, desde *p* hasta *e*, y desde *l* hasta *s*, en donde los colores esten bastante claros para ser aparentes; y aun no son tan resplandecientes como los del espectro solar (*fig.* 208), formado por un pequeño rayo de luz, de algunas líneas de diámetro, que atraviesa un prisma; porque en este caso, se anticipan mucho ménos los colores los unos sobre los otros, y estan por conseqüencia ménos mezclados.

1432 Si el objeto que se mira al traves del prisma es pequeño, y se le ve á alguna distancia, se nota que está colorido en toda su superficie; lo qual proviene de que quanto mas pequeño es el *objeto*, ménos extension ocupa cada color; en tanto que la cantidad, que se apartan los rayos los unos de los otros por la refraccion, es la misma; en cuyo caso se anticipan ménos los colores los unos sobre los otros (1431), y estan por conseqüencia ménos mezclados, y son mas aparentes.

1433 De todos los fenómenos que pertenecen á los colores, el mas hermoso sin duda es el arco

Digitized by Google

iris; esto es; aquella faxa semicircular, adornada de los siete colores primitivos (1376), y colocada en las nubes, que se percibe quando teniendo la espalda vuelta al sol, se mira una nube de la que está cayendo agua, y que se halla iluminada por este astro, con tal que este se halle á una elevacion menor que la de 42 grados sobre el horizonte (1454).

1434 *Antonio de Dominis* manifiesta en su libro *de Radiis visûs et lucis*, impreso en Venecia en 1611, que el arco iris se forma en unas gotas redondas del agua de lluvia, por dos refracciones de la luz solar y una reflexîon entre las dos. *Kleper* tuvo ántes que él el mismo pensamiento, como se ve en las cartas que escribió á *Beranger* en 1605, y á *Harriot* en 1606. Pero como estos sabios no conocian el orígen de los colores, la explicacion que diéron de este meteoro, es defectuosa en algunas partes. A *Newton* es á quien debemos la explicacion exâcta de él; la que presentó con toda claridad, aplicando á ella su descubrimiento de la descomposicion de la luz, y del grado de refrangibilidad propia á cada especie de rayo.

1435 Se ven por lo regular dos arcos iris, uno interior, cuyos colores son vivos, y otro exterior, cuyos colores no lo son tanto. El órden de estos colores es el siguiente: en el arco interior, procediendo de abaxo arriba, se ve, primero el violado, despues el azul turquí, azul celeste, verde, amarillo, naranjado y encarnado: en el arco exterior estan los colores en un órden inverso; de modo que procediendo tambien de abaxo arriba, se ve, primero el encarnado, despues el naranjado, el amarillo, el verde, el azul celeste, el azul turquí y el violado.

1436 Para explicar como sucede esto, suponga-mos que los círculos *a b d*, (*fig.* 218) y *a b d* (*fig.* 219) representan dos gotas de agua: el rayo de luz solar *f a* (*fig.* 218) que viene á herir obliquamente la

gota de agua en *a*, en lugar de continuar su direccion hácia *e*, se refractará acercándose á la perpendicular *g c* (1283), é irá á chocar la concavidad de la gota en *b*: la porcion de esta luz que no atraviese la gota, se reflexará hácia *d*, formando su ángulo de reflexion igual al de su incidencia (1216); y en lugar de continuar su camino en línea recta hacia *b*, se refractará por segunda vez, apartándose de la perpendicular *i c*, por pasar obliquamente del agua al ayre.

1437 Pero como este rayo de luz, por pequeño que sea, es un manojo de rayos mas refrangibles los unos que los otros, el violado, que lo es mas que todos, se dirigirá hácia el punto *k*, y el encarnado, que lo es ménos, se dirigirá hácia el punto *l*. Luego si el ojo del observador está colocado en *l*, de modo que el rayo de luz que viene á herirle, despues de haber sufrido en la gota de agua una reflexion y dos refracciones, á saber, una al entrar en ella, y otra al salir (1436); de modo, digo, que este rayo de luz *d l* forme con el rayo solar *f a* un ángulo *f e l* de 42 grados y 2 minutos, este ojo verá el color encarnado en la direccion *l e*. Si en seguida se eleva el ojo hasta *k*, por exemplo, de modo que el rayo de luz *d k* que llega á él, no forme con el rayo solar *f a* mas que un ángulo de 40 grados y 17 minutos, verá, en su elevacion, sucesivamente todos los colores prismáticos, y percibirá en fin el violado en la direccion *k m*. Lo mismo sucederia, si permaneciendo el ojo del observador en su primer sitio, á saber, en *l*, descendiese la gota de agua de *d* á *i*; y si se supusiese este espacio lleno de una serie de gotas de agua, se veria á un mismo tiempo los colores prismáticos.

1438 Si suponemos ahora iguales series de gotas de agua colocadas en la circunferencia de un semi-

Digitized by Google

círculo, cuyo centro ocupe el ojo del observador, se tendrá una faxa semicircular adornada de los siete colores primitivos (1376), y cuya anchura será igual al espacio *d i*; es decir, que será proporcional á la diferencia que hay entre los rayos mas refrangibles y los que lo son ménos.

1439 Para explicar ahora las apariencias del arco iris exterior, supongamos tambien que el rayo de luz solar *f d* (*fig.* 219) llega á herir obliquamente en *d* la gota de agua representada por el círculo *a b d*: en lugar de continuar su camino hácia *e*, se refractará acercándose á la perpendicular *g c* (1283), é irá á chocar la concavidad de la gota en *b*: la porcion de esta luz que no atraviese la gota, se reflexará hácia *a*, formando su ángulo de reflexîon igual al de su incidencia: una parte de esta misma porcion se reflexará tambien por segunda vez hácia *i*, formando siempre su ángulo de reflexîon igual al de su incidencia (1216); y en seguida, en lugar de continuar su camino en línea recta hácia *b*, se refractará por segunda vez alejándose de la perpendicular *k c*.

1440 Siendo este rayo de luz, como en los casos precedentes (1437), una reunion de rayos mas refrangibles los unos que los otros, el encarnado, que lo es ménos que todos, se dirigirá hácia el punto *l*, y el violado, que lo es mas, se dirigirá hácia el punto *m*. Ahora, colóquese la vista del observador en *l*, de modo que el rayo de luz que llegue á herirla despues de haber sufrido, en la gota de lluvia, dos reflexiones y dos refracciones, á saber, una al entrar en ella, y otra al salir (1439); de modo, digo, que este rayo de luz *i l* forme con el rayo solar *f d*, un ángulo *f b l* de 50 grados y 57 minutos, verá el observador el color encarnado en la direccion *l n*. Si en seguida baxa la vista el observador hasta *m*, por exemplo,

Digitized by Google

de modo que el rayo de luz *i m* que llega á él, forme con el rayo solar *f d* un ángulo *f r m* de 54 grados y 7 minutos, habrá visto sucesivamente en su descenso todos los colores prismáticos, y percibirá, en fin, el violado en la direccion *m o*. Lo mismo sucederia, si permaneciendo la vista del observador en su mismo sitio, á saber, en *l*, subiese la gota de lluvia de *a* á *o*; y si se supusiese este espacio lleno de una serie de gotas de lluvia, veria el ojo á un tiempo todos los colores prismáticos.

1441 Si se imagina ahora, como en el primer caso (1438), que haya semejantes series de gotas de lluvia colocadas en la circunferencia de un semicírculo cuyo centro ocupe el ojo del expectador, dará esto una segunda faxa semicircular adornada de los siete colores primitivos (1376), pero en un órden opuesto al de la primera.

1442 Lo que hemos supuesto hasta aquí, sucede efectivamente: quando una nube se deshace en agua, se hallan gotas de ella en todos los sitios convenientes, para que los rayos que salen de estas gotas, formen con los rayos incidentes los ángulos que hemos dicho ser necesarios para las apariencias del arco iris (1437 y 1440). Hagamos esto sensible con una figura: supongamos que *a*, *b*, *c*, *d* (*fig.* 220) representen unas gotas de lluvia, sobre las quales van á caer los rayos solares *f a*, *f b*, *f c*, *f d*: despues de haber sufrido estos rayos en *a* y *b* dos refracciones y una reflexion (1436), se dirigen hácia el ojo del observador colocado en *e*: siendo de 40 grados y 17 minutos el ángulo *f a e*, formado por el rayo incidente *f a* y el rayo emergente, ó que sale de la gota de agua *a e*, se ve el violado en *a*: siendo de 42 grados y 2 minutos el ángulo *f b e*, formado del mismo modo por el rayo incidente *f b* y el rayo emergente *b e*, se ve el encarnado en *b*; y las demas gotas de

Digitized by Google

lluvia que se hallan colocadas entre *a* y *b*, remitiendo al ojo rayos emergentes, que forman con los rayos de incidencia ángulos convenientes, percibe el ojo á un mismo tiempo todos los demas colores.

1443 Del mismo modo los rayos *f c*, *f d*, despues de haber sufrido en *c* y en *d* dos refracciones y dos reflexiones (1489), se dirigen tambien hácia el mismo observador colocado en *e*. Siendo el ángulo *f c e*, formado por el rayo incidente *f c* y el rayo emergente *c e*, de 50 grados y 57 minutos, se ve el encarnado en *c*: siendo el ángulo *f d e*, formado del mismo modo por el rayo incidente *f d*, y el rayo emergente *d e*, de 54 grados y 7 minutos, se ve el violado en *d*, y las demas gotas de lluvia que se hallan colocadas entre *c* y *d*, enviando tambien al ojo del observador rayos emergentes, y que forman con los rayos de incidencia ángulos convenientes, hacen percibir al observador al mismo tiempo todos los demas colores.

1444 Otro tanto se puede decir de todas las series de gotas de lluvia semejantes, colocadas en las circunferencias de dos semicírculos, cuyo centro ocupe el ojo del observador; lo qual producirá dos faxas coloridas *b b i a*, y *g d k c*, cuyos colores estarán colocados en un órden opuesto (1441), de modo que el encarnado se hallará en la orilla exterior del arco interior, y en la interior del arco exterior, en tanto que al contrario el violado se hallará en la orilla interior del arco interior, y en la exterior del arco exterior.

1445 Los colores del arco exterior no son tan fuertes como los del arco interior, á causa de que, como se ha visto arriba (1439), sufren una reflexion mas los rayos que forman el arco exterior; lo que causa mucha disminucion en ellos, por la razon de que el rayo de luz no se reflexa enteramente,

Digitized by Google

por salirse una parte de él de la gota de agua.

1446 Si se quiere imitar las apariencias del arco iris, será fácil hacerlo por medio de dos globos de cristal llenos de agua, que podemos suponer representados por los círculos *a b d* (*fig.* 218), y *a b d* (*fig.* 219), suspendidos por sus exes con dos cuerdas, que pasarán por dos poleas aseguradas en el techo. Y tirando ó afloxando las cuerdas, se elevará ó baxará los globos segun sea preciso; de modo que haciendo caer sobre cada uno de ellos un rayo solar *f a*, *f d*, en una pieza obscura, estos rayos incidentes formarán con los rayos que salgan de los globos, ángulos tales como hemos dicho (1437 y 1440) ser necesarios para producir las apariencias del arco iris.

1447 Es preciso observar que en este caso se presentarán los colores á la vista, ó se colocarán sobre un carton que se les oponga, en un órden del todo diferente de aquel de que hemos hablado ántes (1435), y que se observa en el arco iris; de modo que los violados se hallan en lo interior, á saber, en *k*, *m* de las *figuras* 218 y 219, suponiendo la primera colocada debaxo de la segunda, y los encarnados en lo exterior, á saber, en *l*, *l*; en tanto que al contrario en los arcos iris (*fig.* 220), se halla el encarnado en la orilla exterior del arco interior, como en *b*, y en la interior del arco exterior, como en *c*; por lo qual se hallan los encarnados á la parte de adentro, y los violados á la parte de afuera. Pero es preciso hacer atencion á que viendo estos colores en el cielo, los referimos á él por unas direcciones que se cruzan en los puntos de sus salidas *d*, *e i* (*fig.* 218 y 219); siendo esta la causa de que veamos los encarnados en *e*, *n*, y los violados en *m*, *o*.

1448 La anchura de las dos faxas coloridas que

Digitized by Google

forman los dos arcos iris, es mas grande en la una y en la otra, que lo que permiten los límites en que estan comprehendidos los diferentes grados de refrangibilidad de cada uno de los rayos heterogéneos que componen el manojo de ellos. *Newton* calculó quales deben ser estas anchuras, y determinó la del arco interior de un grado y 45 minutos, la del arco exterior de 3 grados y 10 minutos, y su distancia recíproca de 8 grados y 55 minutos; que es realmente lo que deberian ser, y lo que serian efectivamente, si el sol no fuese mas que un punto; pero su diámetro es de medio grado, ó poco mas ó ménos, lo qual ensancha cada una de las faxas, y disminuye su distancia recíproca; de modo que en el hecho, es la anchura del arco interior de 2 grados y 15 minutos, la del arco exterior de 3 grados y 40 minutos, y su distancia recíproca es solamente de 8 grados y 25 minutos.

1449 Esta explicacion de las apariencias de los arcos iris puede servir tambien para dar razon de los colores que se percibe al rededor de un surtidor de agua que agita el viento, y divide en gotas, quando está iluminado por el sol, y quando se le mira teniendo la espalda vuelta á este astro, por no percibirse este efecto en toda suerte de posiciones; y si se hace atencion á la que es necesaria, se verá que entónces estan sujetos los ángulos, formados por los rayos incidentes que llegan del sol al surtidor de agua, y por los rayos que salen de ella que vuelven del surtidor al ojo del observador, á las mismas condiciones que las que exîgen las apariencias de los arcos iris.

1450 Hemos dicho ántes (1438 y 1441) que los dos arcos iris representan cada uno una faxa semicircular (*fig.* 220); sin embargo es muy probable que las gotas de lluvia que separan los colores, no

Digitized by Google

estan ordenadas así; pero he aquí la razon de esta apariencia. Teniendo colocado el ojo en el vértice de un cono, se ven los objetos que estan sobre su superficie, como si estuviesen colocados en unos círculos concéntricos inscriptos los unos en los otros, sobre todo quando estos objetos estan á bastante distancia; porque quando diferentes objetos se hallan á una distancia bastante considerable del ojo, parecen estar igualmente distantes (1209). Pero las gotas de agua al traves de las quales pasan los rayos de luz que hacen ver los arcos iris, estan como si se hallasen colocadas sobre la superficie de un cono, cuyo vértice está en el ojo del observador: en conseqüencia, deben estas gotas presentársele como si estuviesen dispuestas en otras tantas faxas ó arcos coloridos, como se ve en los arcos iris. Se llama *línea de aspecto* el exe del cono cuyo vértice está en el ojo del observador, el qual exe es perpendicular al sol.

1451 Es fácil de deducir de estos principios la explicacion de todos los fenómenos particulares del arco iris.

1.° Por exemplo: ¿por qué los arcos iris son siempre de una misma anchura? Por la razon de que los grados de refrangibilidad de los rayos encarnados y violados que forman sus colores extremos son siempre los mismos (1405): luego producen siempre las mismas separaciones ó desvíos entre los colores.

1452 2.° ¿Por qué varía de situacion el arco iris á proporcion que varía de ella el observador? Por la razon de que las gotas coloridas estan dispuestas baxo un ángulo determinado al rededor de la línea de aspecto (1450), la qual varía á proporcion que se muda de sitio; de donde proviene tambien que cada espectador vea un arco iris diferente. Sin embargo, es preciso decir que esta variacion del arco iris en

Digitized by Google

cada observador, no es verdadera sino rigorosamente hablando, si estan cerca los unos de los otros; porque considerándose paralelos los rayos del sol, á causa de la muy grande distancia de este astro (1748), dos observadores inmediato el uno al otro, ven muy sensiblemente el mismo arco iris.

1453 3.° ¿En qué consiste que el arco iris forma una porcion de círculo, unas veces mas grande y otras mas pequeña? En que su magnitud depende de la mayor ó menor extension de la parte de la superficie cónica (1450) que está encima del horizonte en el tiempo que él aparece; y esta porcion es mas pequeña ó mas grande, segun que la línea de aspecto está mas ó ménos inclinada ú obliqua á la superficie de la tierra; cuya obliquidad aumenta á proporcion que el sol está mas elevado; lo que hace que disminuya la magnitud del arco iris á proporcion que se eleva el sol.

1454 4.° ¿Por qué el arco iris no se presenta jamas quando el sol está elevado á una cierta altura? Por la razon de que la superficie cónica sobre la qual debe parecer (1450), está oculta baxo el horizonte, quando el sol está elevado á mas de 42 grados (1433); porque en este caso, si se supone una línea que salga del ojo del observador paralelamente al rayo solar, forma esta línea con lo baxo, lo mismo que con lo alto del horizonte, un ángulo de mas de 42 grados; por conseqüencia el rayo que sale de la gota de agua, que debe formar con el rayo solar (1437), y por decontado con su paralelo, un ángulo solamente de 42 grados, se halla por debaxo del horizonte; de modo que encontrando la superficie de la tierra, no puede llegar al ojo del observador. Sin embargo, se sigue de aquí, que si el sol está elevado mas de 42 grados, pero ménos de 54 (1440), se podrá ver el arco iris exterior, y no el interior.

Digitized by Google

1455 5.° ¿Por qué se ven algunas veces contiguos á la superficie de la tierra los extremos del arco iris; y por qué otras veces estos extremos no se pintan hasta la tierra? Por la razon de que no se ve el arco iris sino en los sitios en donde hay gotas de lluvia: pero si la lluvia está bastante extendida para ocupar un espacio mas grande que la porcion visible de la superficie cónica, sobre la qual debe parecer (1450), se verá un arco iris que llegará hasta la tierra; y si no no se verá mas que en la parte de esta superficie ocupada por la lluvia.

1456 6.° ¿Por qué los extremos del arco iris parecen algunas veces desigualmente distantes? Porque si la lluvia se termina del lado del espectador, en un plano de tal modo inclinado á la línea de aspecto, que el plano de la lluvia forme con esta línea un ángulo agudo del lado del espectador, y un ángulo obtuso del otro lado, estará de tal suerte dispuesta la superficie del cono, sobre la qual estan colocadas las gotas que deben hacer parecer el arco iris (1450), que la parte de este arco que estará en un lado, parecerá estar mas cerca del observador que la que está del otro lado.

1457 7.° ¿Cómo el arco iris puede parecer interrumpido y truncado en su parte superior? No se necesita para esto mas que una nube que intercepte los rayos, y los impida el venir de la parte superior del arco al ojo del observador; pudiendo tambien acontecer el que no se vea mas que los dos extremos del arco iris, á causa de que no haya gota ninguna de lluvia en el sitio en donde deberia parecer su parte superior.

1458 8.° ¿Por qué el arco iris no se presenta siempre exâctamente redondo, y por qué parece algunas veces inclinado? Porque la apariencia de su redondez exâcta depende de su distancia que nos im-

Digitized by Google

pide el verle bien; pero si la lluvia que le produce está cerca de nosotros, se percibe sus irregularidades; y si el viento impele á la lluvia, en términos que su parte superior esté sensiblemente mas distante del ojo que la inferior, el arco parecerá inclinado; en cuyo caso puede parecer oval el arco iris, como lo parece un círculo inclinado, visto á bastante distancia.

1459 9.° ¿Por qué el arco iris no parece mas grande que un semicírculo? Porque el centro del arco iris está siempre en la línea de aspecto (1450), la qual es perpendicular al sol: luego en el caso en que el sol esté en el horizonte, tocará ligeramente esta línea á la tierra: luego si el sol está elevado por cima del horizonte, la extremidad de esta línea, mas distante del sol, y que se halla en el centro del arco, está por debaxo del horizonte, y por conseqüencia no es visible. Luego no se puede ver mas que el semicírculo; porque para ver mayor cantidad de la curva circular, se necesita ver su centro.

1460 Sin embargo, es verdad que si el observador se halla sobre una eminencia muy elevada, y el sol está en el horizonte, ó un poco mas abaxo, entónces la línea de aspecto (1450), en la qual se halla el centro del arco iris, estará considerablemente elevada por cima del horizonte; y el arco iris ocupará por entónces mas de un semicírculo.

1461 Y asimismo, si el sitio está extremamente elevado, y las gotas de lluvia estan próximas al observador, puede acontecer que el arco iris forme un círculo entero.

1462 Y si la parte superior de este círculo está cubierta con algunas nubes, de modo que no sea visible mas que su parte inferior, parecerá invertido el arco iris.

1463 La luz de la luna, refractada y reflexada

por las gotas de lluvia, produce el arco iris, como la del sol, y con los mismos colores; pero son quasi siempre ménos fuertes, á causa de que la intensidad de la luz de la luna es muy inferior á la de la luz del sol.

1464 A la refraccion de la luz por medio de las gotas de agua, es tambien á la que se debe atribuir la formacion de los círculos coloridos, que se percibe al rededor del sol, de la luna, y de los demas planetas y estrellas, á lo que se da el nombre de *coronas*. Convienen todos los físicos en que se las debe atribuir, como se atribuye el arco iris, á la refraccion de los rayos de luz en las partículas de vapores, gotas de agua, y partecillas de yelo y de nieve de que está cargada la atmósfera, con la diferencia de que en el arco iris hay reflexion y refraccion de los rayos (1436 y 1439), y en las coronas no hay mas que refraccion.

1465 La magnitud de estas coronas varía mucho, pues que depende del grueso mas ó ménos grande de los cuerpos heterogéneos que refractan la luz, y de su proximidad á nuestros ojos.

1466 Lo que apoya esta teoría, y la hace verosímil, es el que se puede imitar este meteoro en un tiempo frio: mírese una luz al traves del vapor que exhala una cantidad de agua caliente contenida en un vaso colocado entre la luz y el ojo; y se verá una corona colorida al rededor de la llama. El mismo efecto se tendrá si se mira una luz al traves de un cristal bien pulimentado, y empañado con gotillas de agua imperceptibles, como lo estan en un tiempo frio los cristales de los coches en que hay gente.

1467 Se percibe algunas veces una porcion de círculo de luz colorida como el arco iris, sobre una pradera ó campo hácia donde se mira desde un sitio algo elevado, un poco despues de haber salido el

Digitized by Google

el sol, ó un poco ántes de ponerse; á cuya porcion de círculo así colorido, se le puede llamar *arco iris terrestre*. Este fenómeno, así como el del arco iris, es un efecto de la luz refractada y reflexada por las gotas de rocío ó de lluvia que estan adheridas á la yerba; y puede explicarse del mismo modo (1436 *y siguientes*). Si se hace atencion á la altura del sol sobre el horizonte, á la posicion en que se está quando se percibe el fenómeno, á la fuerza refringente de las gotas de agua esparcida sobre la yerba, y á los diferentes grados de refrangibilidad de los rayos de que está compuesta la luz solar, se verá que el todo está sujeto á las mismas condiciones que á las de donde nacen las apariencias del arco iris.

1468 Se puede hacer aquí una reflexion muy singular: no se sabe qual es el motivo de que caiga la piedra (199); y se conoce la causa de los colores del arco iris, y de su colocacion respectiva, sin embargo de ser este último fenómeno para la multitud, mucho mas maravilloso que el primero. Parece propio el estudio de la naturaleza para ensoberbecernos por una parte, y humillarnos por otra.

1469 Tambien padece la luz un desvío ó separacion, quando pasa tocando ligeramente las orillas de los cuerpos opacos; á cuyo desvío ó separacion se da el nombre de *difraccion* ó *inflexion*. Quando los rayos de luz tocan ligeramente las orillas de un cuerpo opaco, se apartan de su camino, y no le continúan en línea recta. Luego la difraccion es la inflexion de los rayos que se hace en la superficie, ó cerca de la superficie de los cuerpos, y de adonde resulta, no solamente una sombra mayor que la que deben dar, sino tambien al lado de esta sombra, diferentes colores muy semejantes á los del espectro solar (1419).

1470 *Newton* (*Traité d' Optique*, *lib.* 3, *pág.* 477)

Digitized by Google

De los colores considerados en los objetos que nos los hacen ver.

1474 Como los colores pertenecen invariablemente á la luz (1405 y 1416), no pueden presentarse los cuerpos de tal ó tal color, sino en tanto que reflexan ó transmiten rayos de este color, ó que reflexan ó transmiten mas rayos de este color que de los otros; ó mas bien aparecen del color que resulta de la mezcla de los rayos que reflexan ó transmiten.

1475 Pero como muchos cuerpos expuestos á una misma claridad, y á una misma luz, parecen de colores diferentes, es preciso necesariamente que haya en ellos algunas disposiciones que les hagan propios á cada uno para reflexar ó transmitir ciertas partes de esta luz, con exclusion de las otras. ¿Quáles son pues estas disposiciones?

1476 *Newton*, despues de un gran número de observaciones y de experimentos, no se atuvo, para dar razon del color de los cuerpos, mas que al grueso mayor ó menor de las pequeñas láminas ó partículas que los componen; creyendo ver la prueba de esto en las pompas de jabon, cuyas paredes varían de color variando de grueso; como tambien en las láminas delgadas de cristal que hacen los esmaltadores, las quales presentan diferentes colores, segun sus diferentes grados de adelgazamiento. He aquí además, una de las principales pruebas que de esto trae *Newton* (*Traité d' Optique*, *liv.* 2. *part.* 1. *obs.* 4, *pág.* 223).

1477 Tomó dos lentes objetivas, la una plano-convexâ, propia para un telescopio de 14 pies, y la otra convexô-convexâ, propia para un telescopio de 50 pies, y aplicando sobre esta última la prime-

Digitized by Google

ra por su lado plano, como en la *figura* 223, y oprimiéndolas suavemente la una contra la otra, observó lo que sigue.

1478 1.° Colocadas estas lentes sobre un fondo obscuro á fin de no ver mas que la luz reflexada por las lentes ó por la lámina de ayre que se hallaba entre las dos, vió en el medio una mancha negra, rodeada de círculos coloridos; cuya forma, que tetian estos colores quando las lentes estaban bastante comprimidas para hacer parecer la mancha negra en el centro, está señalada en la *figura* 224, en la qual *a*, *b*, *c*, *d*, *e*: *f*, *g*, *h*, *i*, *k*: *l*, *m*, *n*, *o*, *p*: *q*, *r*: *s*, *t*: *u*, *x*: *y*, *z*, señalan los colores siguientes, contándolos por órden desde el centro *a*, que es negro, azul celeste, blanco, amarillo, encarnado: violado, azul celeste, verde, amarillo, encarnado: púrpura, azul celeste, verde, amarillo, encarnado: verde, encarnado: azul verdoso, encarnado: azul verdoso, encarnado baxo: azul verdoso, y blanco roxizo.

1479 2.° Colocadas estas dos lentes entre la luz y el ojo, de modo que se pudiese ver la luz que las atravesaba, observó que el ayre interpuesto hacia ver unos anillos coloridos, transmitiendo la luz tan bien como si la reflexase. Pero entónces se veia en lugar de la mancha negra *a*, un pequeño círculo luminoso; y contando los colores desde allí, parecian en el órden siguiente: encarnado amarillento: negro, violado, azul celeste, blanco, amarillo, encarnado: violado, azul celeste, verde, amarillo, encarnado: verde amarillento, encarnado: verde azulado, encarnado. Pero estos colores eran muy baxos, exceptuando quando la luz pasaba muy obliquamente al traves de las lentes; porque por este medio se hacian muy vivos.

1480 Comparados los anillos producidos por una

te unas series de partículas de luz encarnada, y las transmiten con otra tanta facilidad. Seria preciso á mas convenir en que los poros de los cuerpos sin color ó claros, tales como la nieve, el agua, el cristal, &c. son capaces de recibir luces de todas clases, y por esto, capaces de reflexar ó de transmitir todas las especies de ellas, sea que lleguen junta ó separadamente á su superficie.

1483 Todo esto prueba cada vez mas lo que hemos dicho arriba (1405 y 1416), y es que los colores no pertenecen á la naturaleza de los cuerpos, sino invariablemente á la luz; pues que un mismo cuerpo los pierde y los recobra sucesivamente con tanta facilidad. Se sabe que si al xarave de violetas dilatado en agua se le echan algunas gotas de ácido nítrico, se vuelve encarnado; y que si se mezclan con él algunas gotas de carbonate de potasa, se vuelve verde: si á una disolucion de sulfate de cobre, se le añade algunas gotas de amoniaca, se vuelve de un azul hermoso; y si sobre esta mezcla así colorida se echa un poco de ácido nítrico, pierde su color; sucediendo lo mismo con otras muchas mezclas análogas, bien conocidas de los químicos. Todas estas variaciones no pueden provenir sino de que un licor atenua las partes del otro dividiéndolas, ó engruesándolas uniendo á ellas las suyas; lo que no puede quasi verificarse sin que varíe la figura de las partes, y por conseqüencia la de los poros de la masa, de adonde resulta una reflexion ó una transmision de un color diferente. Tambien produce estas variaciones la accion sola de la luz; siendo ella la que causa el verde de los campos, haciendo propias las hojas de las plantas para reflexar el color verde con mayor abundancia que otro alguno. En efecto, una planta cubierta con un

Digitized by Google

cuerpo opaco, no toma verdor alguno: si se la descubre, se vuelve verde; y si se la cubre de nuevo, pierde su verdor.

1484 Hay cuerpos capaces de transmitir un color, y de reflexar otro; tal es el oro, que parece amarillo por reflexion, y azul verdoso por transparencia: lo qual proviene sin duda de que su superficie es á propósito para reflexar el amarillo, y de que sus poros no pueden transmitir mas que el azul mezclado con un poco de verde.

1485 Quando un cuerpo es de naturaleza de no reflexar mas que rayos de un cierto color, si no está iluminado mas que con una luz de otro color, ó no reflexa nada de ella, por no ser á propósito para darle el movimiento que le conviene, ó reflexa una parte sin variar nada en su color, y presentándose en conseqüencia, con el mismo color del rayo que la ilumina (1416): luego los colores pertenecen á la luz, y no á los cuerpos que nos los hacen ver.

1486 Hay algunos cuerpos que transmiten fácilmente la luz, dándole un paso libre; y otros que no la permiten este paso, deteniéndola ó reflexándola. A los primeros se les da el nombre de *cuerpos transparentes*, y á los segundos el de *cuerpos opacos*. ¿De adónde proviene esta diferencia? *Newton* (*Traité d'Optique*, *liv.* 2, *part.* 3, *prop.* 2, *pag.* 287) pretende, con razon, que proviene la opacidad de los cuerpos de la multitud de las refracciones y de las reflexiones que se verifican en sus partes interiores. Segun él, hay entre las partes de los cuerpos opacos, y entre las de los cuerpos coloridos, muchos espacios, ó vacíos ó llenos de intermedios de una densidad diferente de la de estos cuerpos. Luego la luz no puede atravesar estas partes, sin padecer un gran número de refracciones y de reflexiones, que la impiden el propagarse en líneas rectas. De adonde

CAPITULO XV.

DE LA VISION DE LOS OBJETOS.

1492 La vision de los objetos es la idea que concebimos de ellos, en consequencia de las impresiones que hacen sobre nuestros ojos por medio de la luz: luego la vision es la accion del alma, por la qual percibimos los objetos visibles, con motivo de las impresiones que hacen sobre el órgano de la vista.

1493 El modo con que el alma forma juicio de los objetos con motivo de estas impresiones, es demasiado metafísico para que nos detengamos en él; así, solo daremos razon de todo lo físico que hay en la vision; dexando el resto á los metafísicos para que lo expliquen en la forma que puedan.

1494 El ojo es el órgano destinado para recibir las impresiones de la luz: mientras que está bien sano, puede servirnos perfectamente; pero si llega á enfermar, ó exigimos de él lo que no puede hacer solo, viene el arte á su socorro, proporcionándole instrumentos á propósito para remediar estos defectos.

1495 Luego podemos distinguir dos especies de visiones, á saber, la vision natural, que es la que se hace por medio de solos los ojos; y la vision artificial, que es aquella que está auxiliada, ó que se aumenta con los instrumentos de óptica.

De la vision natural.

1496 Los fenómenos de la vision y el modo con que se executa, son uno de los puntos mas impor-

Digitized by Google

tantes de la física. Todo lo que *Newton* y otros han descubierto sobre la naturaleza de la luz y de los colores, y sobre las leyes de la reflexion, de la refraccion, y de la inflexion de los rayos, se refiere á esta teoría. Pero para dar razon de estos fenómenos, se necesita conocer bien el órgano, ó á lo ménos las partes de él por medio de las quales se executan.

1497 El ojo es un globo compuesto de muchas partes, de las que unas son mas ó ménos firmes, y representan una especie de concha formada por la union de diferentes capas membranosas, llamadas *túnicas* ó *membranas*. Las demas partes son mas ó ménos fluidas: estan encerradas en los intervalos comprehendidos entre estas membranas; y se les da el nombre de *humores*.

1498 Se halla situado el ojo en la cavidad oseosa de la cabeza llamada *órbita*, y cuya figura se aproxîma á la de un cono: está cubierto en la parte anterior por los párpados, cada uno de los quales está guarnecido de una fila de pelillos bastante rígidos, llamada *pestaña*. Estos párpados son dos prolongaciones del cútis, ceñidas en sus extremidades de un cartílago llamado *tarso*, y cubiertas en toda su extension de los músculos que sirven para moverlos.

1499 El globo del ojo se halla unido á los párpados por una membrana delgada y naturalmente blanca, que se llama *conjuntiva* ó *albuginia*, y vulgarmente *el blanco del ojo*. Esta membrana está unida por una de sus extremidades á la circunferencia de la córnea transparente (1504), y por la otra á las orillas de los párpados; hallándose además de esto atada por su parte media al borde de la órbita (1498). Esta membrana tapiza todo lo interior de los párpados y la parte anterior de la túnica del ojo, y se llama *córnea opaca* (1504).

1500 Entre la órbita y el globo del ojo se encuen-

tran sus músculos, sus vasos y cantidad de grasa que facilita su movimiento. Los músculos del ojo son seis, á saber, quatro rectos y dos obliquos. El primero de los rectos, que está encima, sirve para levantar el ojo, y se llama por esto *músculo atolente ó soberbio*: el segundo, que está debaxo, y que es antagonista del primero, sirve para baxar el ojo, y se le da el nombre de *humilde*: el tercero, que está al lado interior del ojo, sirve para volver éste hácia la nariz, y se llama *adutor*, *lector* ó *bebedor*; por la razon de que quando se lee ó bebe, se vuelve los dos ojos hácia la nariz: el quarto, que está al lado exterior, y cuyo uso es el de hacer volver el ojo al lado opuesto á la nariz, se llama *adutor ó desdeñoso*, á causa de que se vuelve el ojo de este modo quando se mira á alguno con desprecio. Siempre que estos quatro músculos obran sucesivamente y de seguida, hace el ojo un movimiento en redondo; y quando obran todos juntos á un mismo tiempo, tienden á aplanar el ojo, y á hacerle ménos convexô.

1501 El primero de los músculos obliquos del ojo es conocido baxo el nombre de *gran obliquo ó gran troclear*, y sirve para que haga el ojo ciertos movimientos que expresen su ternura: el segundo se llama *pequeño obliquo* ó *pequeño troclear*, sirviendo para que el ojo haga los movimientos que manifiestan la indignacion. Obrando juntos estos dos músculos y de concierto, sirven para llevar hácia adelante el globo del ojo, alargarle y hacerle mas convexô. Es probable que quando obran á un tiempo los seis músculos, obligan al globo del ojo á que se aplane, haciéndole de este modo ménos convexô.

1502 Los quatro músculos rectos (1500) tienen su atadura fixa en el fondo de la órbita (1498) en la circunferencia del agujero por donde pasa el nervio óptico (1505), y que se llama por esto *agujero*

Digitized by Google

óptico; y su atadura móvil la tienen en el borde anterior de la córnea opaca (1504). El gran obliquo (1501) tiene su atadura fixa en el fondo de la órbita, despues pasa su tendon por un anillo cartilaginoso, llamado *troclea*, situado del lado del ángulo mayor del ojo en el borde de la órbita, y va á terminarse en la parte posterior del globo, en donde tiene su atadura móvil. El pequeño obliquo tiene su atadura fixa en el borde inferior de la órbita del lado del ángulo menor, y su atadura móvil en la parte posterior del globo.

1503 Hemos dicho (1497) que el globo del ojo está compuesto de membranas y de humores: se dividen sus membranas en comunes y en propias: las comunes son la *córnea*, la *úvea* y la *retina*; y las propias son la *aracnoides* y la *hyaloides*. Hay tres especies de humores en el ojo, á saber, el *humor aqüeo*, el *humor cristalino*, y el *humor vítreo*.

1504 La córnea *a b c d a* (*fig.* 225) encierra todas las partes que componen el globo del ojo: esta membrana es transparente por delante, y opaca en el resto de su extension. Su porcion transparente *a d* se llama *córnea transparente*; y su porcion opaca *a b c d*, *córnea opaca* ó *esclerótica*.

1505 La segunda membrana *e f g h i k*, llamada *úvea*, está agujereada por delante con un agujero redondo *l*, llamado *pupila*, el qual está rodeado de un círculo de diferentes colores; por cuya razon se le ha dado el nombre de *iris*. Mas allá de este círculo se ve una línea blanca circular, á la que se da el nombre de *ligamento cilear*. La pupila *l* puede dilatarse en virtud de la accion de las fibras longitudinales *a b* (*fig.* 226), ó estrecharse por la contraccion de las fibras circulares *c d e*, que se observan en la cara posterior del iris. La porcion de la úvea *f g i k* (*fig.* 225) comprehendida desde el ligamento cilear hasta el ner-

Digitized by Google

vio óptico *m*, y conocida con el nombre de *coroides*, está compuesta de dos láminas, de las quales la interior se llãma *membrana de Ruysch*. Esta lámina de enfrente del ligamento cilear, se prolonga avanzándose sobre la porcion anterior del humor vítreo (1509), y juntándose con el cristalino (1508), y á la prolongacion arrugada *e b* de esta membrana se da el nombre de *producciones cileares*.

1506 La tercera membrana *p n o* se llama *retina*; y tapiza la cara interna de la membrana de *Ruysch*, avanzándose hasta el cristalino *r q s*, en donde se termina. Parece no ser otra cosa mas que una materia blanquecina, y quasi transparente, semejante poco mas ó ménos á la de las hostias ú oblea blanca mojada; pero lavada en el agua, se parece á una tela muy fina, provista de vasos: está formada por la abertura del nervio óptico *m*; y muchos anatómicos la miran como el órgano inmediato de la vision; sin embargo, otros pretenden sea este órgano la membrana de *Ruysch* (1505).

1507 Los humores del ojo son en número de tres, como lo hemos dicho (1503). El primero ó el mas anterior se llama *humor aqüeo*; y ocupa el espacio que hay entre la córnea transparente (1504) y el iris (1505), y además el que se dice hallarse entre la parte posterior del iris y el cristalino *r q s*, á los quales espacios se ha dado el nombre de *cámara anterior del ojo*, y que juntos comunican con la pupila *l*. Lo que se llama *cámara posterior del ojo*, es el espacio en que estan contenidos los otros dos humores; á saber, el cristalino (1508), y el vítreo (1509).

1508 El segundo humor *r q s*, que se llama *humor cristalino*, ó simplemente el *cristalino*, está situado inmediatamente despues del humor aqüeo, detrás del iris (1505), y enfrente de la pupila *l*: tiene una consistencia bastante firme; y su figura es lenti-

Digitized by Google

cular, teniendo sin embargo mas convexidad en su parte posterior *q*, que en su parte anterior. Muchos anatómicos creen que este humor está encerrado en una túnica ó membrana particular, tambien transparente como él, á quien han dado el nombre de *aracnoides* (1503).

1509 El tercer humor, llamado *humor vítreo*, está contenido en todo el resto de la capacidad interior del globo del ojo *o n p q*, y ocupa como se ve mas de las tres quartas partes de esta capacidad. Se le llama vítreo, porque se le compara, por su transparencia, con una masa de vidrio. Esta capacidad está hueca en su parte anterior; y en esta concavidad, comunmente llamada *cavidad del humor vítreo*, es en donde se recibe la convexidad posterior *r q s* del cristalino (1508). La membrana en que está contenido este humor, y que se llama *hyaloides* (1503), es doble: forma muchas celdillas; y en la duplicatura de esta membrana es en donde está alojado el cristalino (1508).

1510 Estos tres humores no tienen densidades iguales. El humor aqüeo (1507) que la tiene igual á la del agua, sobre corta diferencia, es ménos denso que los otros dos: el humor cristalino (1508) es el mas denso de los tres; y el humor vítreo (1509) es mas denso que el humor aqüeo, y ménos denso que el humor cristalino. Estas nociones nos servirán para manifestar el curso de la luz en la vision de los objetos.

1511 Se halla el ojo al abrigo de las injurias exteriores, no solamente por la cavidad oseosa, llamada órbita (1498), en la qual está encerrado, sino tambien por los dos párpados, cuyos bordes estan siempre tirantes por medio de los cartílagos; lo qual hace su union mas exácta.

1512 A las pestañas (1498) se les da el uso de

Digitized by Google

detener, quando no se duerme, los cuerpecillos que andan ó voltean en el ayre, y que podrian empañar la córnea transparente (1504).

1513 En quanto á los músculos del ojo (1500 *y siguientes*), sirven en general para volverle de diferentes modos hácia los objetos que miramos; lo que hacen tanto mas fácilmente, quanto la figura redonda del globo del ojo, la blandura de la grasa que le rodea, y la flexibilidad de los nervios que le sujetan, le disponen mucho para ceder á la menor accion de sus músculos.

1514 En quanto á las membranas del ojo, es su uso el de contener los humores (1503); y el de los humores es modificar los rayos de luz de modo que se reunan sobre la retina (1506), para hacer en ella las impresiones necesarias para excitar la sensacion que se llama *vision*. Veamos ahora como se executa esto.

1515 Se debe concebir que de cada punto de un objeto luminoso ó iluminado *a* (*fig.* 227) parte un número indefinido de rayos de luz, que son lanzados ó reflexados en todas direcciones, y hácia cada punto del espacio que hay al rededor (1186). Los que caen sobre la córnea transparente *b c*, la qual corresponde á la pupila *d*, forman, por su disposicion, una pirámide ó un cono *b a c*, cuyo vértice *a* está del lado del objeto, y la base *b c* apoyada sobre la córnea transparente. Como no percibimos los objetos sino por medio de la impresion que hacen estos rayos de luz sobre la retina, si llegase hasta esta la base de la pirámide, formarian en ella impresiones anchas y débiles, que se confundirian con las de los puntos inmediatos; luego se harian sensibles, sobre la misma parte del órgano, diferentes puntos del objeto, con cuyo motivo la vision seria muy confusa. Para obviar esto, y para que estos rayos for-

Digitized by Google

men sobre la retina las impresiones suficientes para hacer la vision fuerte y distinta, es necesario que estos rayos se conviertan en otro cono opuesto al primero por su base, y cuyo vértice vaya á tocar el fondo del ojo; es decir, que es preciso que estos rayos *a b*, *a c*, así como los intermedios, al atravesar los humores del ojo, se inclinen los unos hácia los otros, de modo que converjan todos juntos precisamente sobre la retina, como en *e*. Veamos como se executa esto.

1516 Antes de llegar estos rayos á la retina sufren tres refracciones; la primera al pasar del ayre al humor aqüeo; la segunda, pasando del humor aqüeo al cristalino; y la tercera, al pasar del cristalino al humor vítreo. Para entender bien esto, supongamos que el objeto *a* (*fig.* 228) envia al ojo tres rayos de luz *a b*, *a c*, *a d*: digo que por medio de las tres refracciones que padecerán dos de estos rayos *a b*, *a d*, al atravesar los tres humores del ojo, irán los tres rayos á reunirse sobre la retina en el punto *e*.

1517 Para concebir esto, hagamos á la memoria lo que hemos dicho ántes, al establecer los principios de la dióptrica: 1.° un rayo de luz que pasa perpendicularmente de un intermedio á otro, no padece refraccion ninguna, sea qual sea la densidad del intermedio en el qual entra (1282): 2.° un rayo de luz que pasa obliquamente de un intermedio raro á uno denso, se refracta acercándose á la perpendicular (1283 y 1286): 3.° un rayo de luz que pasa obliquamente de un intermedio denso á uno raro, se refracta alejándose de la perpendicular (1286). Así, pasando perpendicularmente desde el ayre el rayo *a c* por todos los humores del ojo, debe dirigirse en línea recta sobre la retina al punto *e*. Pero pasando obliquamente desde el ayre los rayos *a b*, *a d*, al humor aqüeo, que es mas denso que el

Digitized by Google

ayre (1510), deben refractarse necesariamente acercándose, el uno á la línea *f b*, y el otro á la línea *f d*, que son las perpendiculares á la superficie, no solamente de la córnea transparente *b c d*, sino tambien del humor aqüeo que ella contiene, pues que estas líneas parten del punto *f*, centro de la convexidad de estas superficies. Luego esta primera refraccion los hace llegar, el uno al punto *g*, y el otro al punto *b*; lo qual, haciéndoles acercar el uno al otro, los vuelve convergentes.

1518 Por la misma razon, pasando obliquamente estos dos rayos *a b g*, *a d b*, del humor aqüeo al cristalino, que es mas denso que el humor aqüeo (1510), deben tambien refractarse acercándose, el uno á la línea *i b*, y el otro á la línea *i d*, que son las perpendiculares á la convexidad anterior *g b* del cristalino *g b l f k*; pues que estas líneas parten del punto *i*, centro de esta convexidad. Luego esta segunda refraccion los hace llegar, el uno al punto *k*, y el otro al punto *l*; lo qual, haciéndoles acercar el uno al otro, los vuelve mas convergentes que lo que eran.

1519 Por la razon contraria, pasando obliquamente los dos rayos *a b g k*, *a d b l*, del cristalino al humor vítreo, que es ménos denso que el cristalino (1510), deben refractarse alejándose, el uno de la línea *n k*, y el otro de la línea *n l*, que son las perpendiculares á la convexidad posterior *k f l* del cristalino *g b l f k*, y al mismo tiempo á la concavidad del humor vítreo, en el qual está colocada esta convexidad del cristalino; pues que parten estas líneas del punto *n*, centro de esta convexidad y de esta concavidad. Pero esta tercera refraccion, haciéndoles alejar de estas perpendiculares, los acerca tambien el uno al otro; lo qual les da el grado de convergencia necesario para que vayan á reunir-

Digitized by Google

se sobre la retina en el punto *e* con el rayo *a c e*. He aquí pues los dos conos *b a d*, *b e d*, opuestos por sus bases, que hemos dicho (1515) ser necesarios para que la vision sea fuerte y distinta; pues que su impresion sobre el punto *e* está hecha con toda la luz que puede pasar por la pupila *g h*, y pues que está reunida en un espacio tan pequeño, que no podria esta impresion anticiparse sobre las impresiones que harian los puntos inmediatos, si los hubiese.

1520 En efecto, supongamos la flecha *a b c* (*figur.* 229) enviando de cada uno de sus puntos iluminados pirámides de luz *a d e*, *b h g*, *c e f*, &c. sobre la córnea transparente *d f*; todas estas pirámides se cruzan en la pupila *e* (1204 y 1205). Para mayor claridad no atendamos mas que á los exes *a e*, *b e*, *c e*, de estas pirámides, que son rayos simples: el rayo *b e* llegará sobre la retina al punto *k*; el rayo *a e* llegará al punto *l*, y el rayo *c e* llegará al punto *i*. Segun lo que acabamos de decir (1517, 1518 y 1519), es claro que los rayos que componen la pirámide *b h g*, padecerán al atravesar los humores del ojo, unas refracciones que los harán convergir precisamente en el punto *k*, en donde pintarán la imágen del medio de la flecha: por unas razones semejantes, padeciendo los rayos que componen la pirámide *a d e*, las mismas refracciones, irán á convergir precisamente en el punto *l*, en donde pintarán la imágen de la punta de la flecha; y los rayos que componen la pirámide *c e f*, irán á convergir precisamente en el punto *i*, en donde pintaran la imágen de la otra extremidad de la flecha: lo mismo se verificará con todas las demas pirámides, que, saliendo de los diferentes puntos iluminados del objeto, colocados entre *a* y *b*, así como entre *b* y *c*, lleguen á apoyar sus bases sobre

Digitized by Google

el ojo; pues que irán á convergir sobre la retina, y á pintar en ella la imágen del punto del objeto de adonde salen; y esto en un órden relativo al que observan las dos pirámides extremas *a d e*, *c e f*, de que acabamos de hablar; lo qual colocará la imágen de la flecha sobre la retina en una situacion inversa.

1521 Pues que las imágenes de los objetos se pintan sobre la retina en una situacion inversa, ¿por qué pues los vemos en una situacion recta? Hé aquí la causa: nosotros vemos siempre el objeto en la direccion del rayo, ó lo que es lo mismo, en la direccion del exe de la pirámide que nos trae la imágen de él (1205); así el ojo verá la punta de la flecha (la qual está pintada en lo baxo del ojo) en la direccion *a l*, y por conseqüencia en lo alto; al contrario, verá la otra extremidad de la flecha (la qual está pintada en lo alto del ojo) en la direccion *c i*, y por conseqüencia en lo baxo: luego verá la flecha en una situacion recta, aun quando su imágen esté pintada sobre la retina en una situacion inversa.

1522 Luego los humores de los ojos son capaces de reunir en un punto los rayos que componen cada pirámide. Pero este punto está tanto mas léjos, quanto mas divergentes son los rayos incidentes; porque entónces estan ménos dispuestos para reunirse: al contrario, está este punto tanto mas cerca, quanto los rayos incidentes son ménos divergentes; por estar entónces mas dispuestos á reunirse. Supongamos que los rayos *a b*, *a c* (*fig.* 227) que salen del punto *a*, tengan, al llegar al ojo *b c*, el grado de divergencia precisamente necesario para que al atravesar los humores de este ojo, vayan á convergir justamente sobre la retina en *e*: es evidente que si no hay nada que varíe el estado de es-

Digitized by Google

te ojo, unos rayos mas divergentes, tales como *f b*, *f c*, pues que salen de un punto mas cerca del ojo que lo que lo está el punto *a*, llegarán al fondo del ojo ántes de reunirse, é irán á convergir mas léjos, como por exemplo en *g*: al contrario, unos rayos ménos divergentes, tales como *b b*, *i c*, pues que vienen desde mas léjos, se reunirán ántes de llegar al fondo del ojo, por exemplo en *k*. En el uno y otro caso será confusa la vision; pues que harán estos rayos en el ojo unas impresiones demasiado anchas (1515).

1523 Sin embargo, aunque la divergencia de los rayos disminuye á proporcion que el objeto se aleja, y aumenta á proporcion que el objeto se acerca, la vision es clara, y distinta á diferentes distancias. He aquí las razones de esto. 1.° Siendo flexíble el globo del ojo, puede aplanarse por la accion de los músculos rectos (1500), y prolongarse por la accion de los músculos obliquos (1501); 2.° por este aplanamiento, la córnea y el cristalino se acercan al fondo del ojo, y la córnea pierde algo de su convexidad; luego los rayos *b b*, *i c*, muy poco divergentes, se rompen ó quebrantan ménos á causa de su menor obliquidad de incidencia (1281), y tienen al mismo tiempo ménos camino que andar para llegar al fondo del ojo; de modo que el punto *k* de su reunion puede llegar á él. Al contrario, por la prolongacion del globo del ojo, la córnea y el cristalino se alejan del fondo del ojo, y la córnea se hace mas convexa; luego los rayos *f b*, *f c*, demasiado divergentes, se quebrantan mas á causa de su mayor obliquidad de incidencia, y tienen al mismo tiempo mas camino que andar para llegar al fondo del ojo; luego este fondo puede hallarse tan léjos del cristalino como el punto *g* de la convergencia de estos rayos.

Digitized by Google

1524 La córnea transparente *b c* forma la porcion de una esfera mas pequeña que el globo del ojo; y por conseqüencia es saliente; cuya salida hace que percibamos los objetos colocados en los lados, que no veriamos sin ella.

1525 Pudiendo la pupila dilatarse ó *encogerse á* voluntad (1505), nos sirve para medir la cantidad de luz que necesitamos, segun la mas ó ménos sensibilidad de nuestros ojos, y segun las circunstancias. Quando pasamos de un sitio en donde hay mucha luz á otro en que hay poca, se dilata la pupila para recibir la mayor cantidad de luz posible; sin lo qual no veriamos los objetos hasta pasado algun tiempo, es decir, hasta que se hubiese disminuido la impresion de la luz viva que habia herido nuestros ojos: al contrario, quando pasamos de un sitio obscuro á otro muy claro, se encoge la *pupila*, por ofendernos entónces la demasiada cantidad de luz.

1526 Es cierto que la imágen de un mismo objeto se pinta en nuestros dos ojos; y sin embargo no nos parece doble el tal objeto. Esto no proviene, como lo han dicho muchos autores célebres, de que nosotros no hagamos obrar mas que á uno de nuestros ojos á un tiempo, y de que, de estos dos órganos, hay uno siempre que está descansando; pues que es cierto que se ve con los dos ojos el mismo objeto, y que las dos imágenes influyen sobre *la* vision, y contribuyen para la sensacion; á causa de que se ve mejor y con mas fuerza con los dos ojos que con uno solo, lo que se puede probar cerrando el uno de los dos; y de que se fatiga ménos la vista, y se forma juicio con mas prontitud y mas seguramente de lo que se mira. He aquí pues como se puede resolver esta qüestion.

1527 Sean dos ojos *d* y *c* (*fig.* 230) dirigidos há-

Digitized by Google

cia un mismo objeto *a b*. Las membranas que tapizan el fondo de estos ojos, son un texido de fibras que pertenecen á los nervios ópticos; y es verosimil que en los dos ojos de un mismo individuo, se parezcan, por lo regular, estas membranas, en el número, disposicion, y tal vez en el grado de resorte de los hilillos nerviosos que las componen. Siendo esto así, luego que los dos ojos *d* y *c* se dirigen hácia un mismo objeto *a b*, las imágenes 1, 2; 1, 2, caen en el uno y en el otro sobre partes semejantes y correspondientes 1, 2; 1, 2, del texido de que acabamos de hablar; y las dos sensaciones que resultan de esto, estando, por decirlo así, en uníssono la una de la otra, y siendo dirigidas al sitio del alma por un solo órgano, pues que los dos nervios ópticos se reunen en un solo nervio que va solo al *sensorium*; estas dos sensaciones, digo, no hacen nacer en el alma mas que una sola y misma idea, mas fuerte y mejor terminada que por una sola imágen, pero siempre idéntica, poco mas ó ménos, como el sonido que hiere nuestras dos orejas (1026), ó el olor que se recibe sobre las dos membranas pituitosas.

1528 Se sigue de aquí que se debe ver doble el objeto, quando las dos imágenes caen en el fondo de los ojos sobre partes que no son análogas ó correspondientes; como si en el ojo derecho *d* cayese la imágen sobre la parte 1, 2, en tanto que en el ojo izquierdo *c* cayese la imágen del mismo objeto sobre la parte 2, 3; y esto es en efecto lo que sucede, quando las partes semejantes no se hallan vueltas del lado del mismo objeto, como se puede experimentar en sí mismo, apretando un poco por un lado el uno de los dos ojos, á fin de volverle.

1529 Las mismas apariencias se tienen si se di-

rige los dos ojos á un objeto, enfrente del qual haya otro colocado mas cerca ó mas léjos; en cuyo caso se ve doble este último. Supongamos, por exemplo, un palo en situacion vertical, colocado á 10 ó 12 pies de distancia: colóquese asimismo verticalmente un dedo delante de los ojos á cosa de 11 pulgadas de distancia; hecho esto, mírese al palo, y se verá doble el dedo; y mirando al dedo, se verá doble el palo.

1530 La distancia de un objeto la juzgamos por el grado de divergencia de los rayos que componen cada pirámide que viene de cada punto (1189); pero juzgamos mas seguramente de esta distancia, quando dirigimos los dos exes ópticos sobre el objeto; pues que creemos esta distancia en el sitio en donde se cruzan estos dos exes: luego un tuerto no forma juicio tan exácto de las distancias como lo hace el que disfruta de los dos ojos. Se llama *exe óptico*, una línea recta que cae perpendicularmente sobre el ojo, y pasa por su centro; de modo que se halla en la prolongacion del exe del globo del ojo.

1531 Formamos juicio de las magnitudes aparentes de los objetos por los ángulos visuales (1187). Luego las magnitudes aparentes de un objeto distante son recíprocamente como sus distancias; es decir, que si está una vez mas distante en un caso que en otro, parece una vez mas pequeño en el primer caso que en el segundo.

1532 Vistos dos ó muchos objetos baxo el mismo ángulo, los quales tienen por consequiencia magnitudes aparentes iguales, tienen magnitudes reales proporcionales á sus distancias. Así, si un objeto *a*, viéndose baxo el mismo ángulo, baxo el qual se ve el objeto *b*, está á una distancia tripla de la del objeto *b*, la magnitud real del objeto *a* es tripla de la

Digitized by Google

del objeto *b*. De este modo es como se ha formado juicio de las magnitudes respectivas de los planetas, quando se ha conocido sus distancias.

1533 Pero esta proposicion (1532) no debe mirarse como verdadera, sino quando los objetos que se compara se hallan el uno y el otro muy distantes, aunque á distancias desiguales. Porque si los objetos se hallan á unas distancias algo pequeñas del ojo, sus magnitudes aparentes no se juzgan proporcionales á los ángulos visuales, ni á sus distancias. Un hombre de dos varas de altura, es visto á quatro varas de distancia, baxo el mismo ángulo, que un enano de una vara, visto á dos varas de distancia; sin embargo, creemos ser mucho mas pequeño el enano que el hombre de dos varas; lo qual proviene de que quando conocemos bien los objetos cuyas magnitudes comparamos, influye mucho este conocimiento en el juicio que formamos.

1534 Si está colocado el ojo encima de un plano horizontal, las diferentes partes de este plano parecerá que se elevan á proporcion que se hallen mas distantes, hasta que ellas parezcan en fin estar á nivel con el ojo. Porque alejándose, parecen mas aproximadas al exe óptico (1530); pues que los rayos que envian á nuestro ojo, forman con el exe óptico ángulos mas agudos que los que forman con este mismo exe los rayos que salen de las partes que estan mas cerca de nosotros: esta es la razon de que los que se hallan en la orilla del mar, se imaginen que se eleva este á proporcion que fixan su vista á unas partes del mar mas distantes.

1535 Por la misma razon, si se coloca debaxo del ojo un número qualquiera de objetos en el mismo plano, los mas distantes parecerán los mas elevados; y si estos mismos objetos estan colocados encima del ojo en un plano semejante, los mas dis-

Digitized by Google

tantes parecerán los mas baxos.

1536 Las partes mas distantes de una pared bien recta y de bastante longitud parece, por la misma razon, que se encorvan hácia qualquiera que se halle poco distante de ella. Del mismo modo las partes superiores de los objetos elevados, como, por exemplo, las torres altas, parece que se inclinan sobre el que se halla colocado cerca de ellas, y esto se verifica algunas veces de un modo que causa miedo: si se echa qualquiera boca arriba á la distancia de dos varas de una torre alta, y mira hácia la parte superior de ella, percibirá el fenómeno de que hablo.

1537 Si la distancia entre dos objetos visibles forma un ángulo insensible, estos objetos, aunque distantes el uno del otro, se presentarán á la vista como si estuviesen contiguos. De adonde se sigue que, no siendo un cuerpo continuo mas que el resultado de muchos cuerpos contiguos, si la distancia entre muchos objetos visibles no es perceptible sino baxo unos ángulos insensibles, todos estos diferentes cuerpos no parecerán mas que un mismo cuerpo continuo. Esta es sin duda la razon que hay para que el anillo de Saturno (1763) no nos parezca mas que un solo cuerpo continuo, aunque los astrónomos le miren como un conjunto de un gran número de satélites pequeños, colocados muy cerca los unos de los otros.

1538 Si se avanza el ojo directamente de un sitio á otro, sin que se perciba su movimiento, un objeto que se halle á derecha ó á izquierda, parecerá moverse en direccion contraria. Esta es la razon de que quando se está en un barco que se mueve con mucha uniformidad, y sin sacudimientos, nos parezca que la orilla y todos los sitios de al rededor se mueven y huyen, por decirlo así, en

Digitized by Google

direccion contraria á la que lleva el barco, y con una velocidad igual á la suya. En efecto, es una regla general de óptica, que quando se mueve el ojo sin que percibamos su movimiento, transportamos este movimiento á los cuerpos exteriores, y creemos que ellos son los que se mueven en direccion contraria: de este mismo modo atribuimos á los cuerpos celestes unos movimientos, que pertenecen realmente á la tierra que habitamos.

1539 En la misma suposicion, á saber, de que no percibamos el movimiento del ojo, si este y el objeto se mueven ámbos á dos sobre unas líneas paralelas, y en la misma direccion; pero que el movimiento del ojo sea mas rápido que el del objeto, parecerá que este se mueve hácia atras.

1540 Si se mira atentamente dos ó muchos objetos distantes, que se mueven con velocidades iguales, y á otro tercero que se halle en reposo, los objetos que se mueven parecerá realmente estar fixos, y el que está en reposo parecerá que se mueve en direccion contraria. Así, quando se mira atentamente algunas nubes colocadas delante de la luna, llevadas con rapidez, siempre que parezca que sus partes conservan entre sí sus situaciones respectivas, se nos figurará que camina la luna en direccion contraria: lo qual proviene de que quando miramos á las nubes las seguimos maquinalmente con los ojos, y por esto las creemos fixas: si mirásemos á la luna, percibiriamos el movimiento de las nubes.

1541 Si el centro de la pupila, ó lo que es lo mismo, del exe óptico (1530), se halla exáctamente enfrente ó en la direccion de una línea recta, se nos presentará esta línea como un punto; porque en este caso no puede ver el ojo mas que la extremidad de ella.

1542 Si el ojo se halla colocado en el plano de

una superficie, de modo que solo una línea del perímetro de ella pueda formar su imágen sobre la retina, se presentará esta superficie como una línea; á causa de que el ojo no puede ver mas que la orilla de esta superficie.

1543 Si un sólido se halla opuesto directamente al ojo, de modo que no pueda recibir rayos mas que del plano de una de sus superficies, tendrá este sólido la apariencia de una superficie; por la razon de que en este caso no puede ver el ojo mas que una de sus caras.

1544 Un arco distante, visto por un ojo que esté en el mismo plano, tendrá la apariencia de una línea recta; á causa de que todos estos puntos parecerán igualmente distantes (1209); luego no se percibirá su curvatura (1212).

1545 Una esfera, vista á alguna distancia, se nos presenta como si fuese un círculo; porque pareciendo estar todas sus partes igualmente iluminadas, nos parecen igualmente distantes (1209). La luna y el sol nos parecen unos planos, sin embargo de ser unos globos.

1546 Las figuras angulares nos parecen redondas á una cierta distancia; porque no viéndolas entónces mas que imperfectamente, no percibimos sus ángulos.

1547 Si el ojo mira obliquamente el centro de un círculo distante, parece oval este círculo, por verse en escorzo el diámetro perpendicular al ojo; es decir, que los rayos que salen de sus extremidades forman con el ojo un ángulo tanto mas agudo, quanto mas grande es la obliquidad; en lugar de que el diámetro paralelo á los dos ojos se ve en toda su extension. Esta es la razon de que en ciertos casos, veamos en figura elíptica, sobre corta diferencia, al anillo de Saturno (1765).

Digitized by Google

Estos son los principales fenómenos de la vision, relativamente á las magnitudes y á las figuras, ya sean reales ya aparentes, de los cuerpos. Veamos ahora el modo con que percibimos los colores de cada objeto.

1548 Los colores, en el sentido de la vista, son las ideas particulares que nacen, ó se excitan en nosotros, con motivo de las impresiones que se hacen sobre el órgano, por las diferentes especies de luz. Pero es probable que las partículas de cada una de estas especies de luz difieren de las otras en masa (52), magnitud, figura, y grado de velocidad de su movimiento (1371); luego deben hacer sobre el órgano de la vista unas impresiones diferentes, como hacen los diferentes cuerpos sobre el órgano del tacto: una parte esférica, por exemplo, no afecta nuestro tacto, como lo hace una parte cúbica, triangular, &c. Siendo diferentes las impresiones que hacen sobre el órgano de la vista las diferentes especies de colores, deben serlo tambien las sensaciones.

1549 Estas ideas de colores se excitan ó subsisten en nosotros independientemente de las causas, si el órgano recibe ó conserva una impresion semejante á la que les hace nacer. Esta es la razon de que, despues de haber fixado la vista sobre un objeto luminoso, tal como el sol, se continúe viéndole, aun quando se cierren los ojos; y si su color no es uno de los colores simples (1376), se ve su imágen sucesivamente baxo diferentes colores; á causa de que las diferentes especies de luz hacen impresiones mas durables las unas que las otras.

1550 La duracion de estas sensaciones no dexa de ser sensible; el caballero *d'Arcy* la midió exáctamente (*Memorias de la Academia de las Ciencias, para el año de* 1765, *pág.* 439); y resulta de sus experimentos, que la duracion de estas sensaciones

es de 8 minutos terceros. De aquí se deduce un fenómeno que á primera vista parece singular, pero que no es por esto ménos cierto; y es el siguiente: si un cuerpo perfectamente negro corbiese un espacio igual á su diámetro en ménos de 8 minutos terceros, podria pasar por delante de nuestros ojos, vueltos hácia la luz, sin que le percibiésemos, aunque fuera tan grande como la luna, y aun mas; porque en este caso, la duracion de la sensacion, hecha sobre nuestros ojos por la luz, seria mas grande que la de su paso.

1551 Pues que no podemos ver nada sino por medio de la luz (1180), y pues que los cuerpos negros no reflexan ninguna, no siendo el negro mas que una privacion de luz (1427), ¿por qué medio pues vemos nosotros lo que es negro? No es nada dificil el responder á esta pregunta. Quando tenemos fixos los ojos sobre un cuerpo perfectamente negro, no es él el que vemos, sino las superficies iluminadas ó luminosas que le rodean; y la luz que ellas nos envian hace impresion sobre todo el fondo de nuestro ojo, excepto el sitio que corresponde al cuerpo negro, el qual sitio está figurado como el mismo cuerpo: luego la falta de sensacion en este sitio es la que nos hace formar juicio de la presencia del cuerpo negro. Está la prueba de esto en que formamos juicio del mismo modo de un cuerpo perfectamente negro, ó de un agujero profundo de adonde no venga luz ninguna: si en una pared blanca se hace un agujero profundo, y se coloca al lado un pedazo de terciopelo bien negro, de la misma figura y de la misma magnitud que el agujero; y en seguida se mira desde un poco léjos el uno y el otro, no se podrá decir seguramente qual de los dos es el agujero, porque ámbos á dos ocasionan la misma falta de sensacion.

Digitized by Google

1552 De este mismo modo poco mas ó ménos es como percibimos las sombras, porque quando son bien negras, no nos envian luz ninguna. Pero se halla alguna veces sombras que son coloridas, como lo observó el primero *Leonardo de Vinci*, hábil pintor italiano, muerto en *Fontainebleau* en los brazos de Francisco I.°; cuyo autor dexó expresada su observacion en una obra intitulada: *Tratado de la Pintura*, en donde dice (*capítulo* 328) que, *hácia el fin del dia, son de color azul las sombras de los cuerpos producidas sobre una pared blanca*; explicando muy bien este fenómeno. La pared blanca está iluminada, hácia el fin de la tarde, por la luz roxiza ó amarillenta del sol, y por la luz azulada del cielo: si se coloca un cuerpo opaco entre el sol y la pared, produce en ella una sombra; es decir, que impide á la luz solar el llegar á este sitio: pero la luz azulada del cielo no es interceptada; luego parece allí sola, y en el sitio solo de la sombra, sin embargo de estar iluminada de ella el resto de la pared; porque siendo mas fuerte la luz solar que ilumina aun este resto, no dexa hacerse visible á la luz azul. Yo he observado algunas veces estas sombras de un azul que tira al violado; lo qual se verifica quando el cielo está muy sereno.

1553 He aquí otro fenómeno de la vision, que es singular, y que merece explicarse; quando se guiñan los ojos, ó se comienza á cerrarlos, ó mejor aun quando se llora, y se mira al mismo tiempo una luz, parece que se lanzan de la parte superior é inferior de ella muchos rayos de luz hácia los ojos; cuyo fenómeno ha explicado muy bien *De la Hire*, de este modo: sea *a* (*fig.* 231) la llama de una vela: *b c* y *d e* los dos párpados, que al cerrarse exprimirán el humor del ojo, el qual adheriéndose al borde de los párpados y al ojo, como próximo que se halla de *b c*

Digitized by Google

y de *d e*, formará una especie de prisma: lanzando sus rayos, la llama de la vela *a*, al traves del intermedio de la pupila, se pinta invertida (1520) sobre la retina en *f g h*; pero cayendo los otros rayos, como *a i*, sobre este humor triangular en *b*, se quebrantan como los que atraviesan un prisma de cristal, y forman al extenderse, la cola *f k*, que está suspendida á la parte inferior *f* de la imágen *f g h* de la llama, de adonde por conseqüencia nos parece provenir, y que nosotros vemos en *a l*: del mismo modo tambien, cayendo los rayos *a m* sobre el humor triangular en *d*, se rompen como si atravesasen un prisma de cristal, extendiéndose en la longitud *h n*, formando otra cola que está suspendida hácia el punto *h* de la imágen *f g h* de la llama, de adonde parece provenir, y la que de este modo vemos en *a o*. Porque las direcciones de las impresiones que se hacen en *f k* y en *h n*, y que nos hacen ver los rayos *a l* y *a o*, se cruzan al salir de la pupila. Está la prueba de esto en que quando se intercepta los rayos superiores *a i k*, con el auxîlio de un cuerpo opaco *i*, la cola *f k* desaparece en el ojo, y por conseqüencia los rayos *a l*, que parece estar lanzados de la parte inferior de la llama *a* de la vela: quando se intercepta los rayos inferiores *a m n*, la cola *h n*, que está hácia el punto *h* de la imágen *f g h* de la llama, desaparece del mismo modo que los rayos *a o*, que parecen ser lanzados de la parte superior de la llama *a*. Como quando se llora se reune mucho mas humor en los párpados, este fenómeno debe ser entónces mucho mas notable; que es en efecto lo que confirma la experiencia.

Digitized by Google

De la vision artificial, y de los instrumentos de óptica.

1554 Acabamos de ver que nuestros ojos, en tanto que estan sanos, bastan para nuestras necesidades, pero no siempre para nuestra curiosidad; porque la vision natural, aun suponiendo los órganos bien sanos, está sujeta á condiciones, y encerrada en unos límites bastante estrechos. Si se halla algun cuerpo opaco entre el objeto y nosotros, no podemos ver el tal objeto. Si, aun quando no haya obstáculo ninguno, está el objeto á bastante distancia, ó es muy pequeño, tampoco le podemos ver. Aun es peor, si nuestros ojos estan debilitados por la edad ó por otra qualquier causa, ó si estan naturalmente mal formados.

1555 El arte ha sabido remediar á una parte de estos inconvenientes, proporcionándonos instrumentos, por medio de los quales podemos ver de nuevo los objetos que han cesado de ser visibles para nosotros, percibir los que estan ocultos á nuestras miradas directas, y aun aquellos á quienes una muy grande distancia, ó una extrema pequeñez pone fuera del poder de nuestra vista. Estos instrumentos son los que vamos á dar á conocer, juntamente con sus usos.

De los Anteojos.

1556 El defecto mas frequente de la vista, y que es quasi inevitable en una edad un poco avanzada, es el de no poder distinguir los objetos pequeños. Quando estos estan colocados á la distancia regular, que es de 10 ó 12 pulgadas, los rayos que componen cada manojo que sale de cada punto (1186), se encuentran demasiado divergentes, sea que el ojo se

Digitized by Google

haya aplanado por la edad, sea que sus humores hayan perdido una parte de su fuerza refringente; luego llegan al fondo del ojo ántes de reunirse (1522): si se coloca el objeto mas léjos, esto disminuye á la verdad la divergencia de los rayos (1186); pero el objeto parece aun mas pequeño (1187), y los rayos de luz que salen de cada punto, se hacen mas raros (1192), y forman sobre el ojo una impresion bastante débil. Para poder acercar el objeto, y no recibir unos rayos demasiado divergentes, se hace uso de los anteojos; es decir, de lentes convexâs, que disminuyen la divergencia de los rayos (1353). Las personas que tienen este defecto en la vista se llaman *Présbitas*.

1557 La invencion de los anteojos trae su data desde el fin del siglo XIII.: se atribuye, sin pruebas suficientes, á *Rogerio Bacon*, religioso franciscano de *Oxford*. Véase sobre esto el *Tratado de Optica de Smith*, y la *Historia de las matemáticas de Montucla*, *tom.* I, *pag.* 424. En esta misma historia se prueba que el inventor de estos anteojos fué probablemente un Florentino llamado *Salvino de gli Armati*, muerto en 1317, y cuyo epitafio, que se hallaba en otro tiempo en la catedral de Florencia, le atribuía expresamente esta invencion. *Alexandro di Spina*, de la órden de Predicadores, muerto en Pisa en 1313, dicen que tambien los habia descubierto.

1558 Es muy singular que los antiguos que conocian los efectos de la refraccion, pues que se servian de esferas de cristal para inflamar los cuerpos, no hayan conocido el efecto de los vidrios lenticulares para aumentarlos; pero aun es mas singular que entre la invencion de los anteojos simples, tales como los que se usan para leer, y cuya data es de 1300 sobre corta diferencia, y la invencion de los

Digitized by Google

telescopios dióptricos (1573), ó anteojos de larga vista, se hayan pasado 300 años; porque la invencion de estos últimos se verificó al fin del siglo XVI.

1559 Otro defecto de la vista, opuesto al de los *Présbitas* (1556), es el de no poder distinguir los objetos sino de muy cerca. Los que tienen este defecto se llaman *Miopes*; los quales, ó tienen los humores de los ojos (1507) muy convexôs, ó estos humores tienen una fuerza refringente demasiado grande, ó el globo del ojo está demasiado prolongado, y por esto se halla la retina (1506) demasiado apartada del cristalino (1508). De aquí se sigue que los rayos que componen cada manojo que sale de cada punto (1186), se encuentran muy poco divergentes; luego se reunen ántes de llegar al fondo del ojo (1522), como en *k* (*fig.* 227). Para dar á los rayos el grado de divergencia que les falta, se hace uso de lentes cóncavas, que aumentan la divergencia de los rayos (1363). Los que tienen precision de hacer uso de estas lentes, ven á la verdad los objetos, mas pequeños que lo que son (1364), pero con mas limpieza y mejor terminados.

De los Polemoscopos.

1560 El polemoscopo es un instrumento por medio del qual podemos ver los objetos ocultos á nuestras miradas directas. La principal pieza de este instrumento es un espejo inclinado *a b* (*fig.* 232), colocado en el fondo de una caxa *a b c*, abierta por enfrente del espejo, el qual envia la imágen del objeto *d e* al ojo *c* del espectador, quien no puede verle sin el instrumento, á causa de los obstáculos que se supone entre este objeto y el ojo. Este instrumento fué inventado en 1637 por *Hevelius*, quien le llamó *polemoscopo* de las voces griegas πολεμος, *com-*

bate, y σκοπέω, *yo veo*, á causa de que se puede hacer uso de él en la guerra, sobre todo en los sitios, para ver lo que pasa en el campo del enemigo.

1561 Se hará de un telescopio dióptrico (1572), un polemoscopo capaz de acercar los objetos, añadiéndole una caxa quadrada *a b c d* (*fig.* 233) que tiene, sobre uno de sus lados, el tubo en donde se halla la lente objetiva *e f* (1577), el qual tubo forma un ángulo recto con el cuerpo del instrumento; y colocando en la caxa, y entre la lente objetiva *e f*, y la ocular *g* (1577), un espejo plano *b*, que esté inclinado 45 grados á la lente objetiva y á las oculares, y que la imágen reflexada por el espejo *b* esté en el foco (1355) de la lente ocular *g*. Por este medio, los objetos situados enfrente de la lente objetiva *e f*, aparecerán enfrente de la ocular *g* en la direccion *g b*, del mismo modo que si no habiendo el espejo *b*, estuviesen en una misma línea recta la lente objetiva *g*, la ocular *e f*, y los objetos. Se añade algunas veces á los anteojos de teatro, un aparato poco mas ó ménos semejante á este; con uno de los quales anteojos así construido, se puede ver una persona que se halle en el palco inmediato, quando parece que se está mirando á otra en el de enfrente.

De las Máquinas ópticas.

1562 Una máquina óptica es una caxa en la qual se ven los objetos bastante iluminados, baxo unas imágenes amplificadas y distantes, con el auxílio de espejos y de lentes convexas. La construccion de estas caxas es muy variable: se hacen con uno ó muchos espejos planos (1236); con espejos cóncavos (1250); pero todo esto se reduce siempre

Digitized by Google

á lo esencial, que es lo siguiente: en una caxa, cuya seccion está representada (*fig.* 234), y que está cerrada por todos lados, excepto de *a* á *b*, se coloca en la parte superior, un espejo plano *c d*, inclinado al fondo de la caxa 45 grados, y en un agujero hecho en *e*, hácia el medio de la anchura de uno de los lados de la caxa, se coloca un vidrio lenticular (1353), cuya longitud de foco de los rayos paralelos (1355), iguala poco mas ó ménos á la que tienen las dos líneas *e f* y *f g*, tomadas juntas. Si el fondo y los lados de la caxa estan cubiertos de diferentes objetos, los rayos de luz que salen de ellos (1186), y que caen sobre el espejo *c d*, se reflexan á la lente convexâ *e*, delante de la qual, estando colocado el ojo, percibe las imágenes de todos estos objetos amplificadas (1353), á bastante distancia (1354), y en la situacion horizontal *e b*. Los dos primeros efectos resultan de las propiedades de las lentes convexâs (1353 y 1354); y el tercero proviene de las propiedades de los espejos planos (1236). Luego los puntos *b* é *i* estan representados en *l* y en *k*, los puntos *m* y *n* en *o* y en *p*, &c.

1563 Si sobre los dos lados de la caxa, perpendiculares á aquel en donde se halla colocada la lente convexâ *e*, se ponen otros espejos planos paralelos á estos lados, se multiplicarán las imágenes quasi al infinito; lo que produce un efecto muy agradable. Se necesita tener cuidado de volver hácia la luz la abertura *a b* de la caxa. Estos instrumentos no son mas que de pura curiosidad.

De las Cámaras obscuras.

1564 La cámara obscura de que se trata aquí es una pieza cerrada exâctamente por todas partes, exceptuando un agujero hecho en el postigo de la ven-

Digitized by Google

tana, ó en otro qualquier sitio que se quiera, en el qual está colocada una lente convexâ (1353), destinada á recibir los rayos de luz reflexados ó emanados de los objetos exteriores, los quales van á pintarse en una situacion invertida, pero con toda claridad, y con sus colores naturales, sobre un fondo blanco, colocado dentro de la pieza, en el foco de la lente (1355).

1565 Se pretende que *Juan Bautista Porta* fué el primero que advirtió el efecto de la cámara obscura; es decir, que observó que los objetos de la parte de afuera se pintaban dentro de ella como las sombras en la pared ó en el suelo (*Véase su magia natural, impresa en* 1560); por lo que se le atribuye la primera invencion. En efecto, habiendo sido agradablemente sorprehendido de este fenómeno, le estudió, le perfeccionó, y enseñó el medio de hacer esta representacion mas clara, poniendo en el agujero de la ventana un vidrio lenticular, cuyo foco esté á la distancia de la pared ó de otro qualquiera fondo blanco.

1566 Desde entónces se han hecho algunas de estas cámaras portátiles, empleando caxas construidas de diferentes modos, en las quales se halla siempre lo que hay de esencial; á saber, una lente convexâ, que tiene su foco sobre un fondo blanco, colocado en un sitio obscuro. Sea *a b c g* (*fig.* 235) una caxa mas larga que ancha, en la que haya un tubo *f* fixo en uno de sus lados pequeños, para recibir otro tubo movible *g*, que tiene una lente convexâ, cuyo foco se halla á la distancia del fondo *a c*. Es claro, que por los rayos que se cruzan al pasar por la lente *g*, se pinta invertido el objeto *d e* (1357) en el fondo de la caxa, como en la pared de la pieza, de que hemos hablado arriba; y aun se formará mejor juicio si este fondo *a c*, en lu-

Digitized by Google

gar de ser de madera, es un pedazo de cristal sin pulir, ó un bastidor cubierto con un papel barnizado.

1567 Si se quiere que el objeto parezca recto á qualquiera que tenga el ojo colocado en *a*, se necesita poner en la caxa un espejo inclinado 45 grados, como *b*, y que la mitad *k l m* de la cubierta pueda abrirse. En cuyo caso, colocando el cristal sin pulir, ó el bastidor de papel barnizado sobre la parte *a l* descubierta, los rayos reflexados por el espejo *b* pintarán allí la imágen del objeto en una situacion recta para el espectador que tenga el ojo en *a*.

1568 Como los rayos de luz que vienen de un objeto distante, son ménos divergentes que los que vienen de mas cerca (1186), es necesario para tener su imágen bien clara, que el tubo *g* sea movible, á fin de poderle acercar ó apartar, segun la distancia de los objetos que se quiera ver.

1569 En la cámara obscura, son las imágenes tanto mas grandes, quanto mas largo está el foco de la lente convexa; porque los manojos de rayos que salen de las extremidades del objeto, se reunen ménos al atravesar la lente; á causa de que siendo menor la curvatura es ménos fuerte la refraccion, pues que no es tan grande la obliquidad de incidencia (1281). La magnitud de la imágen es á la magnitud del objeto, como la distancia de la imágen á la lente *g* es á la distancia del objeto á esta misma lente: porque si *d e* es perpendicular á *o n*, los ángulos en *o* y en *n* son rectos, y los ángulos en *g* son iguales, por opuestos al vértice: luego *i h*: *d e*:: *n g*: *o g*. Pero quanto mas largo es el foco de la lente ménos portátil es la caxa; á causa de que no puede tener una longitud menor que la del foco de la lente. Este inconveniente hizo imaginar al *Abate*

Nollet una cámara obscura, que es muy ligera, que ocupa poco sitio, que es tan fácil de transportar como un paraguas, y cuya lente puede tener una vara de foco, y aun mas. Es esta cámara obscura una pirámide quadrada (*fig.* 236), formada por quatro reglas de madera *a*, *b*, *c*, *d*, reunidas por la parte de arriba en un cuello *e* de la misma materia, y por abaxo en los quatro ángulos de un bastidor *b i k l*: todas estas junturas estan con sus goznes, y cada lado del bastidor se dobla asimismo por el medio; de modo que en abriendo quatro aldabillas para dexar el juego libre á los gozznes, se recogen y reunen las reglas como las ballenas de un paraguas, y al lado de ellas los traversaños que forman el bastidor. El cuello *e* está agujereado de parte á parte para recibir un tubo *m*, en el que hay una lente convexá, que tiene su foco en la base de la pirámide. La parte *m* de menor diámetro que lo demas del tubo, recibe otro cuello *n*, que circula hácia arriba con libertad, y que tiene en su circunferencia dos pequeños tubos abiertos segun su longitud para formar resorte. En estos tubos se deslizan de arriba abaxo dos especies de larguerillos de metal, que sostienen una especie de cubierta *o*, en el fondo de la qual está colocado un espejo plano. En los bordes de esta cubierta se fixan dos espigas ó exes diametralmente opuestos, que giran con un poco de rozamiento, en los agujeros hechos al extremo de los larguerillos, los quales estan aplanados como la cabeza de un compás. Quando se ha unido el segundo cuello *n* al primero *e*, se puede, sin necesidad de mover la pirámide, volver el espejo hácia diferentes puntos del horizonte, é inclinarle tanto como se quiera, para buscar los objetos que se quiere ver; y quando se ha baxado del todo la cubierta *o*, forma con los dos cuellos una especie de caxa que ter-

Digitized by Google

mina la pirámide, y que dexa encerrada la lente y el espejo. Se cubre con paño verde (ó mejor aun con damasco, á fin de que la polilla no haga agujeros en él), aforrado por adentro con tafetan negro, tres lados enteros de la máquina, y una parte *a p b* del quarto. En *a b*, y en las partes inferiores de las dos reglas, se pone una cortina de alguna tela negra un poco tupida, suficiente á que se pueda cubrir con ella la cabeza y las espaldas el que haga uso de la máquina; siendo preciso tambien que cuelgue por abaxo dos ó tres dedos la tela de los otros tres lados.

1570 Para hacer uso de esta máquina, se la coloca sobre una masa cubierta con un pliego de papel blanco, y se pone el que ha de ver ó dibuxar con la espalda vuelta al objeto *f g* que se quiere ver; acercando un poco la cabeza por debaxo de la cortina, y teniendo cuidado que no entre mas luz que la que entra por la lente convexâ colocada en el tubo *m*.

1571 La cámara obscura sirve para muchos usos diferentes. Puede servir, como el polemoscopo (1560), en una plaza sitiada, para ver lo que pasa en el campo del enemigo, prolongando los dos largueros de metal, de que hemos hablado arriba (1569), que unen el cuello *e* á la tapadera *o*, con el fin de subir el espejo á mayor altura que las murallas. La cámara obscura proporciona un espectáculo muy divertido, presentando las imágenes perfectamente semejantes á los objetos, imitando todos los colores, y aun los movimientos, lo que no puede hacer ninguna otra suerte de representacion: por medio de este instrumento, qualquiera que no sepa dibuxar, podrá sin embargo hacerlo con la mayor precision y exâctitud; y el que sepa dibuxar y aun pintar

podrá tambien por este mismo medio perfeccionarse en su arte.

De los Telescopios dióptricos.

1572 Los telescopios dióptricos son unos instrumentos compuestos de tubos, en los quales se hallan colocadas y combinadas algunas lentes, cuya forma es freqüentemente convexá, y algunas veces cóncava. Estos instrumentos tienen la propiedad de hacer ver con claridad los objetos distantes, que no se perciben sino confusamente, ó de ningun modo, á la simple vista. Quando se hace uso de estos instrumentos para los objetos terrestres, se los llama *anteojos*; pero quando sirven para mirar los astros, se los llama *telescopios*.

1573 La invencion de los telescopios es una de las mas útiles de que se pueden vanagloriar los últimos siglos: por medio del telescopio han sido descubiertas las maravillas del cielo, y la astronomía ha llegado á un grado de perfeccion, de que ni aun se pudiéron formar idea los siglos pasados. Parece que los telescopios tuviéron su orígen en *Middelbourg* en *Zelanda*, hácia el año de 1590, cerca de 300 años despues del descubrimiento de los anteojos; y que su invencion se debe á *Zacarías Jansen*, anteojero de *Middelbourg*. Parece tambien que este descubrimiento no fué efecto de la sagacidad de su talento, sino de la pura casualidad; pues que se pretende haberle debido *Jansen* al caso siguiente.

1574 Jugando sus hijos en la tienda, le hiciéron observar que quando ponian dos lentes entre sus dedos la una delante de la otra colocadas á alguna distancia, veian el gallo de la veleta del campana-

Digitized by Google

rio mucho mas grande que lo que se veia naturalmente, y como si estuviese cerca de ellos, pero en una situacion inversa. Maravillado el padre de esta singularidad, le ocurrió poner estas dos lentes verticalmente sobre una plancha, con el auxílio de dos círculos de laton, que se podian acercar ó alejar el uno del otro á discrecion; con cuyo socorro se veia mejor y desde mas léjos. Muchos curiosos viniéron en casa del anteojero para ver el nuevo fenómeno; pero esta invencion permaneció informe y sin utilidad por algun tiempo. Otros artífices de la misma ciudad hiciéron uso de este descubrimiento, apropiándose el honor de él por la nueva forma que le diéron; y he aquí la razon de que se haya variado tanto de opinion sobre el verdadero inventor del telescopio.

1575 Se ve que el telescopio de *Jansen* estaba compuesto de dos lentes convexas, y que invertia la imágen: para dexarla naturalmente, ocurrió el poner del lado del ojo, una lente cóncava en lugar de la lente convexa; lo qual salió bien. A mas, uno de estos artífices atento al efecto de la luz, colocó las lentes en un tubo ennegrecido por dentro; con cuyo medio apartó y absorvió una infinidad de rayos de luz, que reflexándose de encima de toda suerte de objetos, y aun de encima de las paredes interiores del tubo, y no llegando al punto de reunion, sino al lado, confundian ó absorvian la principal imágen. Pero ninguno de estos obreros hizo telescopios de mas de 15 ó 18 pulgadas de largo. *Simon Matius* en Alemania, y *Galileo* en Italia, fuéron los primeros que hiciéron telescopios largos, propios para las observaciones astronómicas.

1576 Hay diferentes especies de telescopios dióptricos, que difieren entre sí en la forma y número de sus lentes: tales son el *telescopio de Galileo*: el te-

lescopio astronómico, el *telescopio aéreo*: el *telescopio terrestre* ó *anteojo de larga vista*; y el *anteojo de larga vista de noche*.

Telescopio de Galileo.

1577 El telescopio de *Galileo* no es otra cosa mas que el telescopio inventado en *Middelburg*, y llamado *telescopio holandes*, pero perfeccionado y hecho mas en grande. Está compuesto de dos lentes, de las quales la una que es convexâ, está colocada del lado del objeto, y se le da el nombre de *objetiva*; y la otra, que es cóndava, está colocada del lado del ojo, y se le da el nombre de *ocular*. Estas dos lentes estan puestas en las dos extremidades de un tubo, y apartadas la una de la otra una distancia tal que el foco real de la lente objetiva (que es el punto *o* (*fig.* 203) en donde se reunen los rayos) (1353), coincide con el foco aparente de la lente ocular (1366). Esta última lente debe estar puesta en un tubo pequeño movible, á fin de poderla acercar ó alejar de la lente objetiva; porque el foco de esta lente es tanto mas corto, quanto mas distante está el punto de adonde salen los rayos, por ser estos entónces ménos divergentes: y *vice versa* (1353).

1578 Para construir un telescopio de esta clase, se necesita colocar en el extremo de un tubo una lente objetiva plano-convexâ ó convexô-convexâ *a* (*fig.* 237), y que sea un segmento de una esfera muy grande; y al otro extremo una lente ocular *b* cóncavo-cóncava, pero formada de un segmento de una esfera menor, y colocada á una distancia de la lente objetiva, que sea tal, que el foco aparente (1366) de esta lente ocular corresponda á la misma distancia *v d*, que el foco real de la lente objetiva. Se ve

Digitized by Google

en esto que la distancia de la lente objetiva á la ocular debe ser la diferencia que hay entre la distancia del foco de la lente objetiva y la del foco aparente de la ocular. Luego la longitud del telescopio se determina, sustrayendo la mas pequeña de estas distancias de la mas grande.

1579. 1.º Supongamos que la lente objetiva sea plano-convexá, y la ocular plano-cóncava; la longitud del telescopio es la diferencia que hay entre los diámetros de las esferas de que son segmentos estas lentes (1584).

1580. 2.º Si la lente objetiva es convexó-convexá, y la ocular cóncavo-cóncava, la longitud del telescopio es la diferencia que hay entre los radios de las esferas de que son parte estas lentes.

1581. 3.º Si la lente objetiva es convexó-convexá, y la ocular plano-cóncava, la longitud del telescopio es la diferencia que hay entre el radio de la esfera, de que es segmento la lente objetiva, y el diámetro de la esfera, de que es parte la lente ocular.

1582. 4.º En fin, si la lente objetiva es plano-convexá, y la lente ocular cóncavo-cóncava, la longitud del telescopio es la diferencia que hay entre el diámetro de la esfera, de que es un segmento la lente objetiva, y el radio de la esfera, de que es parte la lente ocular.

1583. Supongamos por exemplo, que el diámetro de la esfera, de que es un segmento la lente objetiva, sea de 1200 líneas; y que el de la esfera, de que es parte la lente ocular, sea de 100 líneas: la longitud del telescopio será, en el primer caso, de 1100 líneas, diferencia de 1200 á 100; en el segundo caso, de 550 líneas, diferencia de 600 á 50; en el tercer caso, de 500 líneas, diferencia de 600 á 100; y en el quarto caso de 1150 líneas, diferencia de 1200 á 50.

Digitized by Google

1584 Porque el foco de los rayos paralelos está, en una lente plano-convexâ, á una distancia igual á la longitud del diámetro de la esfera, de que es segmento esta lente; y en una lente convexô-convexâ, á una distancia igual á la longitud del radio, si las dos convexidades son segmentos de una misma esfera; pero si las dos curvaturas son diferentes, se halla el foco á una distancia igual á la longitud de la mitad de los dos radios de ellas tomados juntos. Ahora, los manojos de rayos que salen de cada punto de un objeto distante *e f* (*fig.* 237), como vienen desde muy léjos, son quasi paralelos, y pueden ser mirados como tales, quando llegan á la lente objetiva *a*, convexô-convexâ; luego irán á reunirse en *c d*, á 600 líneas del centro de esta lente. Pero se coloca la lente ocular *b*, cóncavo-cóncava, entre la lente objetiva *a* y su foco *c d*, y á una distancia tal, que su foco aparente (1366), que es de 50 líneas, coincide precisamente con el foco *c d* de la lente objetiva; lo que establece, en este caso, la distancia de las dos lentes á 550 líneas; y así de los demas casos.

1585 Luego esta lente cóncava hace los rayos paralelos, y aun un poco divergentes, de convergentes que eran ántes (1363); y el observador colocado en *g*, los recibe, con respecto á esto, como si no hubiese lente alguna interpuesta entre el objeto y él.

1586 El telescopio de *Galileo* aumenta el diámetro aparente del objeto tantas veces como veces contiene el foco real de la lente objetiva al foco aparente de la ocular. Luego en las curvaturas que hemos supuesto arriba (1583), parecerá el diámetro del objeto, en el primer caso (1579), 12 veces tan grande como á la simple vista; en el segundo caso (1580), tambien 12 veces; en el tercer caso (1581),

Digitized by Google

6 veces; y en el quarto caso (1582), 24 veces. Esto hace ver, que para que el telescopio aumente mucho, se necesita que la lente objetiva sea plano-convexâ, y la ocular cóncavo-cóncava. Quando se dice que un telescopio aumenta, no se quiere decir que hace ver los objetos mas grandes que lo natural, pues que esto no sucede jamas; sino solamente que hace ver los objetos mas grandes que lo que parecen naturalmente, á la distancia á que se hallen; de modo que un telescopio que se dice que aumenta, por exemplo, 12 veces, hace ver los objetos de una magnitud igual á aquella con que se los veria á la simple vista, en el caso en que se hallasen 12 veces tan cerca del ojo como lo que estan.

1587 El telescopio de *Galileo* hace ver los objetos en su situacion natural; pero tiene muy poco campo, á causa de que los rayos salen divergentes de la lente ocular (1363); y si esta divergencia los hace ocupar un espacio mas grande que el diámetro de la pupila, no puede el ojo abrazar todo el campo del instrumento; y abraza tanto ménos, quanto mas se aleja de la lente ocular (1192). Luego la extension que abraza la vista de una ojeada aumenta á proporcion que se acerca el ojo á la lente ocular; pero el campo disminuye á proporcion que el telescopio aumenta mas; á causa de que para aumentar mucho, se necesita que la lente ocular sea de un foco corto, y que sea por conseqüencia porcion de una pequeña esfera, la qual abraza poca extension. Los anteojos de teatro son unos pequeños telescopios de *Galileo*.

Telescopio astronómico.

1588 El telescopio astronómico no difiere del precedente sino en que su lente ocular es convexâ, en lugar de ser cóncava. Parece que debemos este telescopio á *Kepler*, quien propuso substituir una lente ocular convexâ á la ocular cóncava; lo que con la misma longitud del instrumento, y las mismas curvaturas de las lentes, aumenta mucho la extension del campo; á causa de que entónces los rayos salen convergentes de la ocular (1353); *luego* puede el ojo recibir mas fácilmente los que vienen de las extremidades de un objeto grande. El telescopio astronómico, que tambien se llama *telescopio de Kepler*, está compuesto de dos lentes convexâs ó plano-convexâs, de las quales la una sirve de objetiva, y la otra de ocular, colocadas en las dos extremidades de un tubo, y apartadas la una de la otra una distancia igual á la suma de las longitudes de los focos de la lente objetiva y de la lente ocular.

1589 Para construir un telescopio astronómico, se necesita colocar en el extremo de un tubo, de una longitud conveniente, una lente objetiva plano-convexâ ó convexô-convexâ *a* (*fig.* 238), y que sea segmento de una esfera grande; y en el otro extremo una lente ocular *b*, convexô-convexâ, pero formada de segmentos de una esfera menor, y colocada mas allá del foco *c* de la lente objetiva, una cantidad *c b*, que iguale la longitud del foco de la lente ocular *b*; de modo que los focos de las dos lentes *a* y *b* coinciden en los mismos puntos en donde se forma la imágen *d e* del objeto.

1590 Se ve pues que, como acabamos de decir (1588), la distancia de la lente objetiva á la ocu-

Digitized by Google

lar debe ser la suma de las longitudes de los focos de una y otra lente; cuya distancia es la que determina la longitud del telescopio. Ya hemos dicho arriba (1584) quales son las longitudes de los focos de las lentes plano-convexâs ó convexô-convexâs.

1591 Supongamos pues, 1.° que la lente objetiva y la lente ocular sean ámbas á dos plano-convexâs, la longitud del telescopio es igual á la suma de los diámetros de las esferas de que son segmentos estas dos lentes.

1592 2.° Si la lente objetiva y la ocular son ámbas á dos convexô-convexâs, la longitud del telescopio es igual á la suma de los radios de las esferas de que son parte estas lentes.

1593 3.° Si la lente objetiva es convexô-convexâ, y la lente ocular plano-convexâ, es igual la longitud del telescopio al radio de la esfera de que es parte la lente objetiva, mas el diámetro de la esfera de que es segmento la ocular.

1594 4.° Si la lente objetiva es plano-convexâ, y la ocular convexô-convexâ, la longitud del telescopio es igual al diámetro de la esfera de quien es segmento la lente objetiva, mas el radio de la esfera de que es parte la lente ocular.

1595 Supongamos, como hemos hecho arriba (1583), que el diámetro de la esfera, de quien es segmento la lente objetiva, sea de 1200 líneas, y que el de la esfera, de quien es parte la lente ocular, sea de 100 líneas: la longitud del telescopio será, en el primer caso, de 1300 líneas, suma de las dos longitudes 1200 y 100; en el segundo caso, de 650 líneas, suma de las dos longitudes 600 y 50; en el tercer caso, de 700 líneas, suma de las dos longitudes 600 y 100; y en el quarto caso, de 1250 líneas, suma de las dos longitudes 1200 y 50.

Digitized by Google

1596 Los manojos de rayos que salen de cada punto de un objeto distante *f g* (*fig.* 238), pudiendo mirarse como paralelos (1584), van á reunirse en *c*, en donde forman la imágen *d e* del objeto, la qual está invertida, á causa de que los rayos que vienen de las extremidades del objeto, se han cruzado al pasar por la lente objetiva *a* (1356). Los rayos que forman cada manojo que sale de cada punto, despues de haber formado la imágen *d e*, se hacen divergentes, y despues se vuelven quasi paralelos por la refraccion que sufren al atravesar la lente ocular *b* (1353), al mismo tiempo que los manojos se hacen convergentes entre sí, y el ojo colocado en *b*, recibe estos rayos del mismo modo que si el mismo objeto estuviese colocado, en lugar de su imágen, en el foco *c*.

1597 Resulta de aquí que la imágen *d e* viene á ser el objeto inmediato de la vision; y que la ve el ojo baxo el ángulo *i b k*; cuyo ángulo es tanto mas grande, quanto mas largo es el foco de la lente objetiva, y mas corto el de la lente ocular.

1598 Por la razon de que este telescopio aumenta el diámetro del objeto tantas veces, quantas el foco de la lente objetiva contiene al de la ocular. De modo que si como en el quarto caso supuesto arriba (1594), el foco de la lente objetiva (1584) es 24 veces tan largo como el de la ocular, se aumentará 24 veces el diámetro aparente del objeto; ó lo que es lo mismo, se verá este diámetro con el telescopio de la misma magnitud que se veria á la simple vista, si el objeto no se hallase mas que á la 24.ª parte de la distancia á que estuviese (1586).

1599 Se puede tambien expresar del modo siguiente, la cantidad que aumenta este telescopio: *la magnitud aparente del objeto, visto con el telescopio, es á su magnitud aparente á la simple vista, como la*

Digitized by Google

distancia del foco de la lente objetiva es á la distancia del foco de la lente ocular.

1600 Se ha dado á este telescopio el nombre de astronómico, por no hacerse uso de él sino para las observaciones astronómicas, á causa de que invierte las imágenes, como lo hemos dicho arriba (1596). Esta inversion ó trastorno de las imágenes hace que este telescopio sea poco á propósito para los objetos terrestres que se quiere ver en su situacion natural; pues que esta propiedad de invertir los objetos estorbaria con freqüencia el que se los pudiese reconocer: no sucede lo mismo con los astros que son redondos, y á los que es indiferente ver rectos ó invertidos, siendo preciso solo el tener presente que los movimientos que entónces parece se hacen de izquierda á derecha, se hacen realmente de derecha á izquierda; y lo mismo los que parece hacerse de arriba abaxo, que se hacen realmente de abaxo arriba.

Telescopio aëreo.

1601 El telescopio aëreo es un verdadero telescopio astronómico, cuya lente objetiva y ocular no estan colocadas en un mismo tubo, por la razon de que estando muy distante de la lente el foco de la lente objetiva, exigiria esto un tubo muy largo, y por conseqüencia muy incómodo y muy dificil de manejar. Este telescopio le debemos al célebre *Huygbens.*

1602 Para construir un telescopio aëreo, 1.° se coloca perpendicularmente un árbol *a b* (*fig.* 239) de la longitud que deberia tener el tubo del telescopio, y aun un poco mas. Antes de elevarle se le aplana por uno de sus lados, en el que se fixan dos reglas paralelas entre sí, y distantes la una de la otra pulgada y media; de modo, que el espacio que queda entre ellas, forme una especie de ranura, un

Digitized by Google

poco mas ancha á la parte de adentro que á la de afuera, que comprehenda quasi toda la longitud de este árbol. En lo alto de él se halla una pequeña polea, que gira sobre su exe, y sobre la qual pasa una cuerda sin fin *c d e*, de diámetro *igual al* del dedo pequeño, poco mas ó ménos, y de una longitud quasi igual á dos veces este árbol; en cuya cuerda se halla un pedazo de plomo *c*, cuyo peso es igual al de la lente objetiva, y al de todo el aparato que debe sostenerla: un liston de dos pies de largo, y formado de modo que pueda correr libremente, pero sin juego alguno, á lo largo de la ranura, tiene en su medio dos brazos de madera *f g*, que se alejan un pie del árbol, y que sostienen á ángulos rectos otro brazo *b* de pie y medio de largo, en el qual hay una especie de horquilla *i*.

1603 2.° Se coloca una lente objetiva en un cilindro *k* de 3 pulgadas de largo; cuyo cilindro se asegura sobre una regla muy recta de una pulgada de grueso, y que le exceda en longitud en 8 ó 10 pulgadas, como se ve en *l*: á esta regla está fixada una bola de cobre, que es llevada, y se mueve libremente en una porcion de esfera hueca, en donde está metida: está hecha por lo regular esta porcion de esfera de dos piezas, que se aseguran con el auxílio de un tornillo; lo qual es susceptible de un movimiento semejante al de la rodilla de un hombre; y á fin que la lente objetiva pueda moverse con mas facilidad, se suspende de ella un peso de una libra, por medio de un alambre grueso de laton, de modo que recogiendo este hilo por un lado ó por otro, se consigue fácilmente el que se encuentren juntos los centros de gravedad del peso de la lente objetiva, y de la bola de cobre: por debaxo de la regla *l*, se ata un alambre elástico de laton, que se recoge en lo baxo, hasta que su punta esté tan

Digitized by Google

baxa por debaxo de la regla como el centro de la bola; á cuya punta se ata un cordon delgado de seda *g m*.

1604 3.° La lente ocular se coloca en un cilindro *n* muy corto, al qual se sujeta la regla *n m*; de la que cuelga un peso pequeño suficiente para contravalancearla: hácia *n* se sujeta un mango *o* atravesado con un exe, que debe tener en la mano el astrónomo; y la regla *n m*, enfilada hácia el lado de la lente objetiva, está atada al cordon de seda *m g*: este cordon, despues de haberle pasado por un agujero que se halla al extremo de la regla, está arrollado sobre una clavija *p* fixa en el medio de la regla; de modo que volviéndola, se aumenta ó disminuye, como se ve, la longitud del cordon, y por conseqüencia, la distancia de la lente objetiva á la ocular; lo que equivale al tubo movible (1577).

1605 4.° A fin de que el astrónomo pueda tener firmemente la lente ocular, y bien tirante el cordon, afirma su brazo sobre el apoyo *q*.

1606 5.° En fin para apartar la luz débil que podrá cansar el ojo, se cubre la lente ocular con un círculo de laton que tiene un agujerito en el medio.

1607 Se han hecho telescopios, cuya lente objetiva tenia hasta 100 pies de foco, y que eran capaces de mucho aumento. Para evitar *Huygbens* el andar con tanteos en la construccion de los telescopios astronómicos, ha dado una tabla de las proporciones de los focos de las lentes objetivas y oculares, de la que es un resumen la que se sigue.

Digitized by Google

1608 *Tabla de las proporciones de los focos de las lentes objetivas y oculares.*

Distancia del foco de las lentes objetivas.	Diámetro de la abertura.		Distancia del foco de las lentes oculares.		Razon en que aumentan los diámetros aparentes de los objetos.
Pies.	Pulg.	Centésim de pulg.	Pulg.	Centésim. de pulg.	
1	0	55	0	61	20
2	0	77	0	85	28
3	0	95	1	5	35
4	1	9	1	20	40
5	1	23	1	35	44
6	1	34	1	47	49
7	1	45	1	60	53
8	1	55	1	71	56
9	1	64	1	80	60
10	1	73	1	90	63
15	2	12	2	27	79
20	2	45	2	58	93
25	2	74	2	84	104
30	3	0	3	19	113
40	3	46	3	75	128
50	3	87	4	26	141
60	4	24	4	66	154
70	4	58	5	5	166
80	4	90	5	39	178
90	5	5	5	83	185
100	6	48	6	30	190

Digitized by Google

1609 Si en dos ó mas telescopios de magnitudes diferentes es una misma la proporcion entre los focos de la lente objetiva y de la ocular, aumentarán igualmente los objetos; de adonde parece que se deberia concluir, es inútil el hacer telescopios grandes. Pero con un poco de reflexion, nos convenceremos de que no es buena esta conseqüencia; por la razon de que quanto mas distante está el foco de la lente objetiva, mas corto puede ser proporcionalmente el de la lente ocular; y por conseqüencia estar contenido un número mayor de veces en el foco de la lente objetiva (1598). He aquí la razon: quanto mas grande es la lente objetiva, mayor puede ser la abertura que se le dexe; luego recibe mas rayos; luego hay en el instrumento mas luz, lo qual permite el que se emplee una lente ocular de un foco mas corto. Otra ventaja de los telescopios grandes es que quanto mayor sea la esfera de que es porcion la lente objetiva, mas exáctamente reunirá los rayos, y mas clara será por conseqüencia la imágen; cuyo efecto es el mas importante que puede producir un telescopio. Si fuera preciso que hubiese siempre la misma proporcion entre los focos de las lentes objetivas y de las oculares, se seguiria que pues que con una lente objetiva de un pie, se necesita una lente ocular de 61 centésimas de pulgada, con una lente objetiva de 100 pies se necesitaria una lente ocular de 61 pulgadas; y se ve por la tabla de *Huyghens* (1608), que basta una de poco mas de 6 pulgadas; lo que hace 10 veces mas grande la fuerza amplificante.

Telescopio terrestre ó anteojo de larga vista.

1610 El telescopio terrestre ó anteojo de larga vista es, hablando propiamente, el telescopio as-

Digitized by Google

tronómico (1588), al qual se le han añadido dos lentes oculares, á fin de que no salga invertida la imágen; porque acabamos de ver (1596) que el telescopio astronómico presenta invertidos los objetos; lo qual es del todo indiferente quando se observa cuerpos redondos, tales como son los cuerpos celestes; pero quando se hace uso de este instrumento para los objetos terrestres, incomoda el verlos invertidos; por cuyo motivo se ha buscado el medio de que salga recta la imágen.

1611 Para hacer un telescopio que pueda llenar esta idea, se necesita primero construir el equivalente de un telescopio astronómico (1589), mediante la lente objetiva *a* (*fig.* 240), y la lente ocular *b*, colocadas á una distancia la una de la otra, que iguale á la suma de las longitudes de sus focos (1590), entre las quales se viene á formar en *c* la imágen invertida *d e*, como en el telescopio astronómico (*fig.* 238). Despues se coloca mas allá de la lente ocular *b* (*fig.* 240) otras dos lentes oculares *f*, *g*, á unas distancias las unas de las otras, que cada distancia sea igual á la suma de las longitudes de los focos de las dos lentes inmediatas. Entónces los rayos divergentes que componen cada manojo que sale del foco *c*, vueltos paralelos al atravesar la lente ocular *b* (1596), y habiéndose hecho convergentes entre sí los manojos, van á cruzarse en *b*: en seguida continuando su camino, y atravesando la lente ocular *f*, se hacen convergentes de paralelos que eran ántes los rayos que componen cada manojo, y van á formar en *i* una segunda imágen *e d* en direccion contraria de la primera, es decir, recta; la qual es el objeto inmediato de la vision, y se percibe en el foco *i* por el ojo colocado en *k*; del mismo modo que se percibe por el ojo colocado en *b* (1596) (*fig.* 238) en el foco *c*, la imágen invertida *d e*.

Digitized by Google

1612 No se ven los objetos en este telescopio tan claramente como se ven en el telescopio astronómico; por la razon de que la luz tiene dos lentes mas que atravesar, lo que le hace perder de su intensidad, á causa de los rayos que se detienen en las partes sólidas de ellas; siendo esta la razon de que no se haga uso de él para observar los astros, á los que es preciso ver con toda claridad, sin que sea de entidad el haberlos de ver rectos ó invertidos, á causa de su figura redonda. Solo se debe tener presente que en este último caso se hacen todos los movimientos en direccion contraria de la que se ve; de modo que los movimientos de derecha á izquierda, se hacen realmente de izquierda á derecha, y los que se ve que se hacen de arriba abaxo, se hacen realmente de abaxo arriba, &c.

1613 El telescopio terrestre aumenta los objetos en la misma proporcion que lo hace el telescopio astronómico (1598), es decir, tantas veces como el foco de la lente objetiva contiene al de una de las oculares, suponiendo que las tres lentes oculares son segmentos de esferas iguales; de modo que aumenta precisamente la misma cantidad que aumentaria, si suprimidas las dos lentes oculares *f*, *g* (*fig.* 240), se colocase el ojo en *b*.

1614 Pero si las tres oculares *b*, *f*, *g*, tuviesen curvaturas diferentes, por ser segmentos de esferas desiguales, se necesitaria sumar las longitudes de los focos de estas tres lentes, y dividir la suma por 3; y el quociente de la division seria la longitud del foco de la lente ocular, que se necesitaria comparar con la longitud del foco de la lente objetiva, para saber quantas veces estaria contenida la primera en la segunda; y este número de veces daria el grado en que aumentaria los objetos el instrumento.

Digitized by Google

1615 De lo que hemos dicho (1610) se sigue, que un telescopio astronómico puede cambiarse fácilmente en telescopio terrestre, añadiéndole dos lentes oculares; y el telescopio terrestre en telescopio astronómico, suprimiéndole dos lentes oculares; permaneciendo siempre la misma la facultad de aumentar (1613).

1616 La construccion del telescopio terrestre (1611), hace conocer que se halla su longitud añadiendo cinco veces el radio de la esfera, de que son segmentos las lentes oculares, al diámetro de la esfera de que es parte la lente objetiva, en caso que esta sea plano-convexâ (1594), ó bien al radio de esta esfera, si la lente objetiva es igualmente convexô-convexâ (1592).

1617 *Huygbens* fué el primero que observó una cosa que contribuye mucho á la limpieza de las imágenes vistas con el telescopio, ya sea astronómico, ya terrestre, y es el colocar en el sitio *c* (*fig.* 238), ó *i* (*fig.* 240), en donde se forma la imágen, delante de la lente ocular mas inmediata al ojo, un diafragma, es decir, un anillo de madera ó de metal, cuya abertura sea un poco mas pequeña que la anchura de la lente ocular: este diafragma detiene todos los rayos irregularmente refractados, que pueden venir á alterar la limpieza de la imágen.

Anteojo de larga vista de noche.

1618 Hace algunos años que se construyen en Inglaterra anteojos de larga vista, destinados para observar durante la noche, los quales sirven principalmente en el mar para seguir una embarcacion, reconocer una costa, la entrada de un puerto, &c.

1619 Estos anteojos, cuya primera idea parece deberse al *Doctor Hoock*, estan compuestos de una

Digitized by Google

lente objetiva de un diámetro grande, á fin de que pueda recibir muchos rayos de luz, y de dos ó quatro lentes oculares. Este gran número de lentes oculares sirve principalmente para disminuir la longitud de estos anteojos, sin disminuir su poder amplificante; porque tendiendo cada una á reunir los rayos mas cerca (1353), colocando muchas á cortas distancias unas de otras, todas juntas no equivalen mas que á una sola lente ocular de un foco mas corto; mediante lo qual el instrumento aumenta tanto, como si su lente objetiva fuese de un foco mas largo.

1620 En estos anteojos se ven los objetos invertidos; inconveniente que es menor que lo que parece, á causa de que segun el uso para que estan destinados, basta que puedan hacer reconocer y distinguir sensiblemente las masas. A mas, la habitud de servirse de ellos debe disminuir bien pronto este inconveniente, y aun hacerle desaparecer.

De los Telescopios catadióptricos.

1621 Hemos visto (1572 *y siguientes*) que los telescopios dióptricos deben ser muy largos, para amplificar mucho las imágenes; lo qual les hace dificiles de manejar. A mas, quando se quiere que aumenten mucho, hay el riesgo de que les falte la claridad y la limpieza. Todo esto ha sido lo que hizo nacer la idea de construir telescopios de reflexion, es decir, compuestos de espejos combinados con lentes; motivo por el qual se les ha dado el nombre de *catadióptricos*. Estos telescopios no tienen necesidad de ser, ni con mucho, tan largos como los telescopios dióptricos, para aumentar tanto como ellos.

1622 Por lo regular se atribuye á *Newton* la invencion del telescopio catadióptrico; sin embar-

Digitized by Google

go, no fué él el primero á quien ocurrió esta idea, pues que no comenzó á pensar en este telescopio, como lo dice él mismo, hasta el año 1666; y en el de 1663 ya habia dado la descripcion de un telescopio de este género, *Santiago Gregory*, geómetra Escoces, en su *Optica promota*. *Cassegrain* en Francia habia tenido tambien una idea poco mas ó ménos semejante, hácia el mismo tiempo. Pero lo que tal vez costará trabajo creer, es que la primera idea de este telescopio tiene su data cerca de 15 años ántes, y pertenece incontextablemente al P. *Mersenne*, como lo prueba lo que él dice en la *proposicion séptima de su catóptrica*, impresa en 1651, en donde habla de los espejos cóncavos combinados muchos juntos. "La misma composicion, dice él, pue»de servir tambien para hacer *un espejo* para ver »de léjos, y aumentar las imágenes como los an»teojos de larga vista." Si el P. *Mersenne* no hizo executar este telescopio, fué porque *Descartes* le apartó de esta idea, haciéndole presente algunas dificultades, que no existen, pero á las quales cedió.

1623 Aunque no fuese *Newton* el primero que tuviese la idea del telescopio catadióptrico; sin embargo, á él es á quien somos deudores de este instrumento; pues que el suyo fué el primero que se executó y publicó; y él el que mejor vió y conoció todas sus ventajas. Habiendo observado, mediante su descubrimiento de la descomposicion de la luz, que una lente, qualquiera que sea su curvatura, no puede reunir todos los rayos en su foco, y que hay en ella otros tantos focos, en seguida los unos de los otros, como especies de rayos hay diferentemente refrangibles (1422), renunció á la idea que habia tenido de perfeccionar los telescopios dióptricos, y pensó en hacerlos catadióptricos (1425).

1624 Hay diferentes especies de telescopios ca-

Digitized by Google

tadióptricos, los quales difieren entre sí en la forma, número y posicion de sus espejos y de sus lentes. Tales son el *telescopio Neutoniano*, el *telescopio Gregoriano*, el *telescopio de Cassegrain*, y el *telescopio de Santiago le Maire*.

Telescopio Neutoniano.

1625 El telescopio Neutoniano está compuesto de un espejo cóncavo, de otro plano, y de una lente ocular convexâ. Para construir un telescopio de esta especie se necesita colocar en el fondo de un tubo *a b c d* (*fig.* 241), un espejo cóncavo grande *e f* de metal, enfrente del qual y en su exe se coloca un espejo plano *b g* tambien de metal, de una figura elíptica, é inclinado 45 grados al exe del telescopio. Este espejo plano debe estar situado entre el espejo grande cóncavo y su foco, y á una distancia de este foco que sea igual á la distancia del centro de este espejo pequeño al foco de la lente ocular *i*, la qual está colocada en un tubo pequeño lateral *k l*, en la perpendicular al exe del espejo grande, tirada desde el centro del espejo pequeño plano.

1626 Supongamos ahora un objeto *m n*, colocado enfrente de este telescopio, y á una grande distancia. Los rayos que forman cada manojo que sale de cada punto del objeto, viniendo desde muy léjos, llegan quasi paralelos (1584); y los manojos que salen de las extremidades del objeto, se cruzan al entrar en el telescopio (1204); de modo que el manojo *p f* es el que viene del punto *m* del objeto; y el manojo *o e* es el que viene del punto *n* del objeto Estos rayos que irian, despues de la reflexion que sufren encima del espejo grande *e f*, á dibuxar la imágen invertida *r s* de este objeto, en el

Digitized by Google

foco *t* de este espejo grande (1251 y 1252), son recibidos por el espejo pequeño plano *g h*, y reflexados hácia la lente ocular *i*. Pero los espejos planos no varían nada en la disposicion de los rayos de luz que reflexan (1221): luego la imágen en *v x* estará invertida, como lo hubiera estado en *r s*; y hallándose en el foco *q* de la lente ocular *i*, los rayos que forman cada manojo, despues de las refracciones que sufren al entrar y al salir por ella, se hallan quasi paralelos (1353), en tanto que los manojos que vienen de diferentes puntos del objeto, convergen en *y*, en donde se coloca el ojo.

1627 Luego este telescopio invierte las imágenes; pero como esto es indiferente para la inspeccion de los astros, se hace uso de él con ventaja para las observaciones astronómicas; tanto mejor, quanto no teniendo mas que una lente ocular, tiene mas claridad que los telescopios que tienen mayor número de lentes oculares (1612).

1628 Con el telescopio Neutoniano es dificil de encontrar el objeto, á causa de que colocándose el ojo en un lado no tiene al objeto en la direccion de su exe. Por este motivo se pone sobre el cuerpo del telescopio un anteojo pequeño dióptrico que tiene mucho campo, y cuyo exe es paralelo al del instrumento, el qual anteojo sirve para encontrar el objeto que se quiere observar.

1629 La lente ocular del telescopio Neutoniano, colocada en el lado, hace este instrumento muy cómodo para observar los astros quando se hallan cerca del zenit, ó en el mismo zenit; porque aun en el momento en que el instrumento está en situacion vertical, se halla el observador en una situacion cómoda; lo que no se verifica quando se hace uso de otro telescopio, á la extremidad del qual debe colocarse el ojo.

Digitized by Google

1630 La cantidad que aumenta el diámetro aparente del objeto, por medio de este telescopio, es igual al número de veces que se halla contenido el foco de la lente ocular en el foco del espejo grande. Así, si el foco del espejo grande es de 200 líneas, y el del ocular de 4 líneas, aumenta el instrumento 50 veces; es decir, que el diámetro aparente del objeto, visto con el telescopio, parece tan grande, como lo pareceria á la simple vista, si estuviese el objeto á la 50ª parte de la distancia á que se halla.

Telescopio Gregoriano.

1631 El telescopio Gregoriano está compuesto de dos espejos cóncavos, y dos lentes oculares convexâs ó plano-convexâs. Para construir un telescopio de esta especie, se necesita colocar en el fondo de un tubo *a b c d* (*fig.* 242) un grande espejo cóncavo de metal *e f*, agujereado en su centro. Enfrente del medio de este espejo, y hácia el otro extremo del tubo, se coloca un segundo espejo cóncavo de metal *g h*, paralelo al grande, un poco mas ancho que el agujero que se halla en el centro del espejo grande, y cuya concavidad sea parte de una esfera mucho mas pequeña que aquella sobre la qual esté formado el espejo grande. Este espejo pequeño *g h* debe estar colocado á la otra parte del foco *i k* del espejo grande *e f*, y á una distancia tal que el foco del espejo pequeño esté apartado del foco del grande (1222), una cantidad que se halle por esta proporcion: *el foco del espejo grande es al foco del espejo pequeño, como el foco del espejo pequeño es al espacio que debe haber entre los focos de los dos espejos.* Supongamos, por exemplo, que el foco del es-

pejo grande sea de 540 líneas, y que el foco del espejo pequeño sea de 90 líneas, se tendrá esta proporcion, 540 : 90 : : 90 ; 15 ; de modo que los focos de estos dos espejos deben estar apartados el uno del otro 15 líneas; lo qual da la distancia de un espejo á otro, que es de 645 líneas. A la extremidad del tubo *a b c d*, en la qual está colocado el espejo grande *e f*, y enfrente del agujero que está en el centro de este espejo, se coloca otro tubo mas pequeño *l m o n*, en el qual se ponen dos lentes oculares *l o*, *m n*. Como las distancias de los focos varían un poco, segun estan mas ó ménos distantes los objetos, y por conseqüencia, segun son mas ó ménos divergentes (1252) los rayos que componen cada manojo que sale de cada punto del objeto, se necesita que el espejo pequeño *g h* esté colocado en una espiga *p* movible, á fin de poderle acercar ó alejar del espejo grande, segun sea preciso.

1632 Por esta construccion se ve que difiere el telescopio Gregoriano del Neutoniano, 1.° en que el espejo grande está agujereado en su centro: 2.° en que el espejo pequeño es cóncavo, en igual de ser plano: 3.° en que el espejo pequeño está colocado paralelamente al grande, en lugar de estar inclinado á él: 4.° en que tiene dos lentes oculares, en igual de una; y 5.° en que estas lentes oculares estan colocadas á la extremidad del tubo, y no en un lado.

1633 Supongamos ahora, como hemos hecho ántes (1626), que *q r* sea un objeto situado á una distancia grande, y que los rayos que salen de él se crucen al entrar en el instrumento. Estos rayos *p f*, *s e* se reflexan convergentes al foco del espejo grande (1252), en donde trazan la imágen invertida *i k* (1257): despues de lo qual van, cruzándose de nue-

Digitized by Google

vo, á caer divergentes sobre el espejo pequeño *g h*, que los reflexa convergentes hácia las lentes oculares; por la razon de que el punto de su divergencia está mas distante de este espejo (1631), que lo que lo está su foco de los rayos paralelos (1256). Encontrando estos rayos la lente ocular *l o*, se hacen aun mas convergentes, y van á trazar en *t u* una segunda imágen en direccion contraria de la primera *k i*, es decir, recta, la qual es el objeto inmediato de la vision. Y como el sitio *t u* de esta imágen es por construccion, el foco de la segunda lente ocular *m n*, salen de ella poco más ó ménos paralelos (1353) los rayos que forman cada manojo que sale de cada punto; y los manojos se hacen convergentes entre sí: luego el ojo colocado en *x* ve esta imágen amplificada, segun la magnitud del ángulo *y x z*.

1634 El telescopio Gregoriano hace ver la imágen en la misma situacion que la que tiene el objeto; pero la hace ver con un poco ménos claridad que el telescopio Neutoniano, por la razon de que la luz tiene que atravesar dos lentes oculares, en lugar de que no tiene que atravesar mas que una en el telescopio Neutoniano.

1635 La cantidad que aumenta el diámetro aparente del objeto por medio del telescopio Gregoriano, es igual al quadrado del foco del espejo grande, dividido por el producto del foco del espejo pequeño multiplicado por el foco de la lente ocular. Supongamos, como arriba (1631), que el foco del espejo grande sea de 540 líneas; que el foco del espejo pequeño sea de 90 líneas; y que el foco de la lente ocular sea de 50 líneas. El quadrado de 540 es 291600; el producto de 90 multiplicado por 50, es 4500. Luego si se divide 291600 por 4500, el

Digitized by Google

quociente 64,8 expresará el número de veces que aumenta el diámetro aparente del objeto, visto con este telescopio, á saber, cerca de 65 veces; es decir, que el diámetro aparente del objeto se verá, con el auxílio del telescopio, de la misma magnitud que se veria á la simple vista, si el objeto estuviese situado á la 65.ª parte de la distancia á que se halla.

Telescopio de Cassegrain.

1636 El telescopio de *Cassegrain* está compuesto de un espejo cóncavo, de un espejo convexô, y de dos lentes oculares convexâs, ó plano-convexâs, situadas respectivamente las unas á las otras, como lo estan los espejos y las lentes en el telescopio Gregoriano (1631).

1637 El telescopio de *Cassegrain* se parece mucho al telescopio Gregoriano; diferenciándose solamente, 1.º en que la forma de su espejo pequeño es convexâ, en lugar de que la del telescopio Gregoriano es cóncava: 2.º en que hace ver la imágen invertida (1639); y 3.º en que á esfericidades iguales de los espejos, es mas corto en una cantidad igual al duplo de la longitud del foco aparente (1248) del espejo pequeño convexô. En efecto, se concibe fácilmente que siendo pequeño el espejo convexô, no puede reflexar hácia la primera lente ocular *l-o* (*fig.* 242), los rayos aun convergentes, si no los recibe él mismo mas convergentes, pues que disminuye su convergencia (1225 y 1227). Pero esto no puede verificarse mas que en tanto que este espejo pequeño no esté colocado mas cerca del grande, que lo estaria si fuese cóncavo, una cantidad igual al duplo de la longitud de su foco aparente.

Digitized by Google

1638 Luego este pequeño espejo convexô debe estar colocado, en el telescopio de *Cassegrain*, entre el espejo grande cóncavo y su foco, de modo que el foco aparente del pequeño espejo convexô cae en el mismo punto en donde se debe hallar el foco real del pequeño espejo cóncavo en el telescopio Gregoriano; es decir, que este foco aparente debe caer de la otra parte del foco *i k* del espejo grande cóncavo *e f*, una cantidad que se halla por esta proporçion: *el foco real del espejo grande cóncavo es al foco aparente del pequeño espejo convexô, como este último foco es al intervalo que debe haber entre los focos de los dos espejos.* De adonde se sigue (lo que acabamos de decir) que quando es convexô el espejo pequeño, el telescopio es mas corto que lo sería, si este espejo pequeño fuese cóncavo, y de la misma esfericidad, en una cantidad igual al duplo de la longitud del foco aparente del espejo pequeño convexô.

1639 Este telescopio invierte la imágen del objeto, por la razon de que el espejo convexô, que recibe los rayos ántes que hayan trazado la imágen (1638), los reflexa sin obligarlos á que se crucen: luego despues de la segunda reflexîon de los rayos, se halla la imágen trazada en la misma direccion que lo que lo hubiera sido despues de la primera reflexîon.

1640 El telescopio de *Cassegrain* aumenta tanto como el Gregoriano (1635), y en la misma proporcion. Pero pudiendo ser mas corto que este último, conservando la misma fuerza amplificante, puede emplearse con ventaja en la astronomía, en donde es indiferente que las imágenes se vean invertidas ó no, é importante, sobre todo en el mar, el que el instrumento sea de la menor longitud posi-

Digitized by Google

ble. El gran telescopio hecho por D. *Noël* es de esta especie.

Telescopio de Santiago le Maire.

1641 El telescopio de *Santiago le Maire*, inventado por él en 1728, es un derivado del telescopio Neutoniano (1625): sin embargo difiere de él en que no se compone mas que de un espejo cóncavo, y de una lente ocular convexâ; suprimiéndose en él el espejo pequeño plano. Para construir un telescopio de esta especie, se necesita colocar en el fondo de un tubo *a b c d* (*fig.* 243), un espejo grande cóncavo de metal *e f*, sujeto al tubo con un gozne hácia *f*, y que pueda inclinarse mas ó ménos hácia *e* por medio de un tornillo *g*, que atraviesa el fondo del tubo: á este tubo se añade la parte *b i*, del mismo grueso que el tubo, y que va ensanchándose hácia *i*: á la extremidad *i c* de esta parte añadida está colocado el tubo pequeño *k l m*, en donde se halla la lente ocular *k l*: este pequeño tubo es movible, lo mismo que el espejo *e f*, y puede, con movimiento lateral, alejarse ó acercarse al tubo grande *d c*, á fin de que se pueda acomodar convenientemente á los diferentes grados de inclinacion que se puede dar al espejo *e f*. Hay un gran número de otras piezas, de las quales las unas estan destinadas para hacer estos movimientos suaves, exâctos y cómodos de executar, y las otras para dirigir el instrumento hácia el objeto que se quiere observar. El que quiera enterarse del por menor de este instrumento, hallará la descripcion de todo él, y la figura en la coleccion de las *máquinas aprobadas por la Academia*, *tom.* 6.° *pág.* 61.

1642 Supongamos ahora, como hemos hecho án-

Digitized by Google

tes (1626), que *n o* sea un objeto que se halle á una grande distancia, y que los rayos que salen de él se crucen al entrar en el instrumento. Estos rayos *q f*, *p e*, se reflexan convergentes al foco del espejo grande (1252), y van (á causa de la inclinacion de este espejo al exe del tubo grande) á la parte *h i*, á trazar la imágen *r s* invertida (1257). Y como el sitio *r s* de esta imágen es, por construccion, el sitio del foco de la lente ocular *k l*, los rayos que forman cada manojo que sale de cada punto, salen de ella poco mas ó ménos paralelos (1353), y los manojos se hacen convergentes hácia *m*, en donde colocado el ojo, ve esta imágen amplificada. Por lo dicho se ve que se necesita volver la espalda al objeto que se quiere observar.

1643 El telescopio de *le Maire* hace ver la imágen invertida lo mismo que el de *Newton*; pero la imágen sale mas limpia y trazada con una luz mas bella, á causa de que sus rayos sufren en este instrumento una reflexion ménos que en el telescopio Neutoniano, lo que permite emplear en él una lente ocular de un foco mas corto, haciéndole por conseqüencia aumentar mas; por la razon de que este telescopio amplifica la imágen en la misma proporcion que el de *Newton* (1630); es decir, que aumenta el diámetro aparente del objeto una cantidad, que iguala el número de veces que el foco de la lente ocular está contenido en el foco del espejo.

1644 *Herschell* construyó hace algunos años, un telescopio de esta especie, del que ha sacado grandes ventajas; pues que por su medio ha descubierto ocho satélites en su planeta, como tambien dos nuevos satélites en Saturno (1620). Pero se ve por lo que hemos dicho (1641), que no hay motivo para mirar á *Herschell*, como se ha hecho durante

Digitized by Google

algun tiempo, como al inventor de este telescopio; pues que este instrumento habia sido inventado, executado y publicado por *Santiago le Maire* cerca de cincuenta y cinco años ántes que *Herschell* tuviese idea de él. Sin embargo, no se le debe quitar toda la gloria en este punto; pues que los telescopios que ha construido son superiores con mucho á los que existian ántes, por su magnitud, su poder amplificante, y la belleza de su execucion.

De los Anteojos acromáticos.

1645 Los anteojos acromáticos son aquellos cuya lente objetiva no dexa percibir color ninguno de iris, por grande que sea el diámetro de su abertura. Luego puede entónces haber mucha luz en el instrumento; lo qual permite que se emplee en él una lente ocular de un foco muy corto; de adonde resulta mayor amplificacion de la imágen (1598), por ser estos anteojos unos verdaderos telescopios astronómicos (1588), pero superiores con mucho á los que los han precedido.

1646 En los telescopios dióptricos ordinarios (1572), se ve, hácia las orillas de la lente objetiva, unos colores muy fuertes, que resultan de la separacion de los rayos (1379), por la refraccion que padecen al atravesar las orillas de esta lente, y que obligan á reducir ó estrechar mucho su abertura, á fin de tener la imágen un poco limpia. Hace algunos años que se ha imaginado, con el fin de corregir este defecto, el componer de diferentes sustancias las lentes objetivas de estos telescopios.

1647 La primera traza de esta ingeniosa idea se halla en una Memoria de *Euler* (*Mem. de la Acad.*

Digitized by Google

de Berlin, *tom.* 3.°). He aquí lo que decia este sabio en 1747: "Está reconocido, entre los astrónomos, que las lentes objetivas de que se hace uso »freqüentemente en los anteojos, tienen el defecto »de que producen una infinidad de focos, segun los »diferentes grados de refrangibilidad de los rayos »(1422). Los rayos encarnados, sufriendo la menor »refraccion al pasar por el cristal, forman su foco »á una distancia mas grande del cristal que los ra»yos violados, cuya refraccion es la mayor (1393).... »Luego no se reunen en un punto los rayos refrac»tados, como se supone en la óptica; sino que se »extenderá su foco sobre un espacio que será tan»to mas considerable, quanto mas largo sea el fo»co de la lente objetiva..... *Newton* (*Traité d' Op»tique*, *pag.* 114) sospechó ya, que unas lentes ob»jetivas compuestas de dos lentes, cuyo espacio in»termedio estuviese lleno de agua, podian servir pa»ra perfeccionar los anteojos con respecto á la ab»erracion de esfericidad de las lentes (1425); pero »no creo tuviese la idea de que fuese posible el dis»minuir, por este mismo medio, el espacio en que »se dispersan los focos de los diferentes rayos. Des»de luego me ha parecido muy probable que una »cierta combinacion de diferentes cuerpos transpa»rentes podrá ser capaz de remediar este inconve»niente; y estoy persuadido de que los diferentes hu»mores (1507) en nuestros ojos, se hallan ordena»dos en ellos de modo que no resulta ninguna di»fusion del foco." La consideracion de lo que pasa en nuestros ojos conducia de este modo á *Euler* á buscar un medio de imitar á la naturaleza, y le hacia esperar el conseguirlo por la combinacion de los fluidos entre dos lentes. No se puede ménos de mi-

Digitized by Google

rar su reflexion como razonable; pues que nuestros ojos son verdaderamente acromáticos.

1648 En conseqüencia de esto buscó *Euler* las dimensiones de las lentes objetivas formadas de cristal y de agua, de modo que pudiesen imitar la combinacion que se halla naturalmente en el ojo; pero sus tentativas fuéron inútiles; pues que los anteojos que se executáron baxo estos principios, no tuviéron feliz éxito, á causa de que el agua y el cristal, relativamente á sus refracciones medias, no producen diferencias bastante sensibles en las refrangibilidades de los colores.

1649 Luego que pareció la memoria de *Euler*, *Dollond* padre, célebre óptico de Londres, quiso sacar partido de ella. Despues que se hubo disputado algun tiempo sobre esta materia, y sobre todo despues que en 1755, *Klingenstierna* hizo abandonar á *Dollond* algunas opiniones erróneas, á las quales era muy adicto, hizo este hábil artista unas tentativas que tuviéron feliz éxito. Concibió la esperanza de salir mejor con su proyecto, combinando cristales de diferentes calidades para formar una lente objetiva, que empleando para ello el cristal y el agua por la razon que acabamos de decir arriba (1648). Un cristal muy blanco y muy transparente, llamado comunmente *Flint-glass* ó *cristal de Inglaterra*, es el que da, segun *Dollond*, los iris mas expresados, y por conseqüencia, aquel en que la refraccion del encarnado difiere mas de la del violado: un cristal verdoso, conocido en Inglaterra baxo el nombre de *Crown-glass*, y que se parece mucho en su calidad á nuestro vidrio comun, es al contrario el que da la menor diferencia en la refrangibilidad de los rayos encarnados y violados. Estas dos especies de cristales son las dos materias

Digitized by Google

de que imaginó servirse *Dollond*, despues de haber medido sus qualidades refrangibles, y de haberlas encontrado en la razon de 3 á 2.

1650 Los primeros anteojos que executó *Dollond*, tuviéron un éxîto muy grande. Bien pronto se exercitáron los geómetras en buscar las curvas mas propias para corregir las aberraciones de refrangibilidad. Pero como es raro el hallar muchos pedazos de cristal de una densidad perfectamente igual, aunque de la misma especie, no se puede siempre emplear las curvas indicadas por los geómetras; por lo que es preciso variarlas. Esta es la razon de que los artistas tengan que andar con tanteos si quieren perfeccionar sus obras.

1651 Nos contentaremos pues con indicar las dimensiones de dos anteojos excelentes, de cerca de 43 pulgadas de foco, hechos por Dollond, y que son muy superiores á todo lo que se ha hecho en este género. La lente objetiva está compuesta de tres lentes, de las quales la una es de *Flint-glass* cóncavo-cóncava, colocada entre dos lentes de vidrio comun ó de *Crown-glass* convexô-convexâs. Los seis radios de las curvas, comenzando por el de la superficie exterior de la lente objetiva, son, en uno de estos anteojos, de 315, 450, 235, 315, 320, y 320 líneas. En el otro anteojo, son los seis radios de 315, 400, 238, 290, 316, 316 líneas. Este último tiene 43 pulgadas y 5 líneas de foco. Estos anteojos aumentan desde 100 hasta 200 veces, segun los diferentes aparatos que se les aplica, y producen por consiguiente mas efecto que los anteojos antiguos de 25 á 30 pies.

1652 Se puede ver (*fig.* 244) la seccion transversal de una lente objetiva de anteojo acromático, compuesta de tres lentes; á saber, de una cóncavo-cóncava 3, 4, de *Flint-glass*, colocada entre dos con-

Digitized by Google

vexó convexâs 1, 2 y 5, 6, de *Crown-glass*. Siendo diferentes las curvas, es fácil de ver, que debe quedar entre cada lente un espacio lleno de ayre.

1653 Los rayos de luz emanados del objeto caen sobre la superficie 1, sufren dos refracciones, una al entrar y otra al salir de esta primer lente (1353), que es de *Crown-glass*, y los rayos coloridos de que estan compuestos (1371 y 1372), se separan, y se hacen visibles: en seguida atravesando las dos superficies 3 y 4 de la lente cóncava, que es de *Flint-glass*, se refractan en direccion contraria (1363); pero mas fuertemente que lo que lo habian sido por la primera lente, por tener la segunda mas densidad (1279) y mas curvatura (1281); de modo que los colores son aun visibles, pero han variado de posicion, hallándose en lo baxo los que estaban en lo alto, y *vice versa*. En fin, atravesando estos rayos las dos superficies 5 y 6 de la tercer lente, que es de *Crown-glass*, se refractan de nuevo en direccion contraria de lo que lo habia hecho el *Flint-glass*, pero en una cantidad igual á la que el *Flint-glass* los habia refractado de mas; de adonde resulta una reunion perfecta de los rayos, y por conseqüencia una cesacion de color (1385).

1654 Se ha hecho tambien de estas lentes objetivas, de dos lentes solamente; la una 1, 2 (*fig.* 245) de *Crown-glass*, y la otra 3, 4 de *Flint-glass*, cuyos radios de sus curvas exteriores 1 y 4 son mucho mas largos que los de las curvas interiores 2 y 3. Estas lentes objetivas son mucho mas fáciles de executar, que las de tres lentes, pero no son tan buenas ni con mucho, ni tan perfectamente acromáticas.

1655 Se ha encontrado tambien el medio de

Digitized by Google

corregir, y aun de anonadar, por decir así, las imperfecciones del pulimentado de las superficies interiores, colocando entre las lentes, en lugar de ayre, una sustancia muy transparente, y cuya densidad se acerca mucho mas á la de las lentes, que lo que lo hace la densidad del ayre. La mejor de estas sustancias es la almáciga, la qual sabiéndola escoger, es muy transparente, y se aplica perfectamente bien á las lentes. Debemos esta invencion á *Putois*, artífice de instrumentos de óptica, con privilegio del Rey, en virtud de la presentacion de este invento que hizo á S. M. la Academia de las Ciencias.

De los Microscopios.

1656 Los microscopios son unos instrumentos que sirven para ver en grande objetos en sí mismos muy pequeños, por medio de una ó mas lentes (1353) combinadas entre sí, y que por esto hacen que perciba la vista, de un modo muy claro, objetos que por su naturaleza son imperceptibles. Luego los microscopios nos ayudan á ver de cerca, así como los telescopios (1572) nos ayudan á mirar á lo léjos; y tanto como estos facilitan los progresos de la astronomía (1573), otro tanto son ventajosos aquellos para la historia natural y para la física.

1657 Hay tres especies de microscopios; á saber, el *microscopio simple*, el *microscopio compuesto*, y el *microscopio solar*.

Digitized by Google

Microscopio simple.

1658 El microscopio simple está compuesto de una simple lente (1353) muy convexâ, y de un foco muy corto; la qual se coloca en una regla de metal que se sostiene de un modo qualquiera, con tal que sea cómodo para el observador; y el objeto se pone por lo regular en una punta delgada, ó sobre qualquiera otro apoyo. Supongamos pues la lentecilla *a* (*fig.* 246) colocada en la regla de metal *b c*: el ojo colocado en *a* muy cerca de esta lente; y el objeto *d e* que se supone muy pequeño, colocado un poco mas cerca de la lente que la distancia de su foco (1355); de modo que los manojos de rayos que vienen de las extremidades *d*, *e*, salen de la lente quasi paralelos, con solo el pequeño grado de divergencia necesario, y tal como seria, si estos manojos de rayos viniesen de los dos puntos *f*, *g*, mucho mas distantes. Luego el objeto se ve en *f*, *g* (1189), y mucho mas grande; y la magnitud *f g* de la imágen es á la magnitud *d e* del objeto, como la distancia *a b* de la lente á la imágen, es á la distancia *a i* de la lente al objeto; esto es, poco mas ó ménos, como la distancia á la qual se veria distintamente el objeto, es á la longitud del foco de la lente *a*.

1659 Luego una lente de un foco muy corto forma un microscopio, no solamente porque amplifica la imágen del objeto, sino tambien porque le hace ver con mas claridad; á causa de que el mismo objeto visto por el mismo agujero sin lente, y á la misma distancia, parece quasi tan grande como quando se le mira al traves de la lente. Supongamos, por exemplo, que el ojo esté colocado

Digitized by Google

en *a* (*fig.* 247), enfrente y cerca de un agujerillo hecho de parte á parte en la regla de metal *b c*, y que mire por allí un objeto *d e* colocado á una distancia muy pequeña: 1.° le verá clara y distintamente, porque siendo muy pequeño el agujero, no puede recibir el ojo, de cada punto visible del objeto, mas que un rayo simple, por decir así, y no un manojo de rayos divergentes (1188), que tendrian necesidad de un cierto grado de refraccion para reunirse justamente sobre la retina. 2.° La magnitud aparente de este objeto se aumentará considerablemente, porque se le percibirá baxo el ángulo *d a e*, mucho mas abierto que el ángulo *f a g*, que se supone ser aquel baxo el qual podria verse distintamente á la simple vista este mismo objeto.

1660 Pero si enfrente del agujero *a* (*fig.* 248) (que se supone ser mas grande que el agujero *a* (*fig.* 247)) se coloca una lente *a* (*fig.* 248) que tenga su foco un poco mas léjos que la distancia *b c*, la qual es igual á la que se supuso estar colocado el objeto *d e* (*fig.* 247) enfrente del agujero *a*, los simples rayos *b a*, *c a* (*fig.* 248), formarán al llegar á la lente el ángulo *b a c*, igual á el *d a e* (*fig.* 247); pero tendrá además los rayos colaterales, que divergiendo de los puntos *b*, *c*, &c. (*fig.* 248), y refractándose en la lente, podrán entrar en el ojo, y hacer ver el objeto mas claramente. Luego un microscopio amplifica la imágen, porque se puede ver distintamente, por su medio, un objeto colocado á una muy pequeña distancia del ojo; y esta amplificacion es relativa á la distancia, á la qual se ve el objeto al traves de la lente, comparada á la distancia del objeto visto á la simple vista. De modo que si con el auxílio de un microscopio, se puede ver un ob-

Digitized by Google

jeto 500 veces mas cerca que á la simple vista, su diámetro se verá 500 veces mas grande.

1661 Se sigue de aquí, que quanto mas pequeñas y convexâs son las lentes, ó lo que es lo mismo, que quanto mas corto es su foco, mas capaces son de amplificar las imágenes. *Henrique Barker* calculó una tabla, en la qual está expresada, en números, la cantidad que aumenta un objeto visto al traves de las lentes microscópicas; y es la siguiente.

Digitized by Google

1662 *Tabla de la fuerza de las lentes convexas de que se hace uso en los microscopios simples, segun la distancia de su foco; calculada baxo una escala de una pulgada dividida en 100 partes, suponiendo la simple vista á la distancia de 8 pulgadas.*

Foco de la lente.		Centésimas de una pulgada.	Aumento del diámetro del objeto.	Aumento de la superficie del objeto.	Aumento del cubo del objeto.
			veces.	*veces.*	*veces.*
1/2	6 50		 16	... 256	4096
4/10	40		 20	... 400	8000
3/10	30		 26	... 676	17576
1/5	20		 40	... 1600	64000
	15		 53	... 2809	148877
	14		 57	... 3249	185193
	13		 61	... 3721	226981
	12		 66	... 4356	287496
	11		 72	... 5184	373248
1/10	10		 80	... 6400	512000
	9		 88	... 7744	681472
	8		 100	... 10000	1000000
	7		 114	... 12996	1481544
	6		 133	... 17689	2352637
1/20	5		 160	... 25600	4096000
1/25	4		 200	... 40000	8000000
	3		 266	... 70756	18821096
1/50	2		 490	... 160000	64000000
	1		 800	... 640000	512000000

1663 Si suponemos pues una lente cuyo foco esté distante de su centro la 10.ª parte de una pulgada; como en 8 pulgadas hay 80 décimas de pulgada, se verá el objeto con esta lente 80 veces tan cerca como á la simple vista (1658); luego se le verá 80 veces tan alto y 80 veces tan ancho como parece á la vista natural; y como 80 multiplicado por 80 producen 6400, se verá la superficie del objeto 6400 veces tan grande. Si se quiere saber quanto aumenta el cubo ó la solidez aparente del objeto, se multiplicará la superficie por el diámetro; es decir, 6400 por 80, lo que dará 512000; y esta es la cantidad que aumentará el volúmen total del objeto.

Microscopio compuesto.

1664 Para que el microscopio simple pueda aumentar mucho, se necesita que su lente tenga un foco muy corto; lo qual hace que no se pueda aplicar cómodamente á toda clase de objetos: esta es la razon que se ha tenido para inventar los microscopios compuestos; los que con unas lentes de un foco mas largo, producen quasi tanto efecto como los simples; siendo además su campo mucho mas grande.

1665 El microscopio compuesto es un conjunto de muchas lentes convexâs colocadas en tubos; de las que una que sirve de lente objetiva, es de un foco corto, y las otras, que sirven de lentes oculares, son de un foco mas largo. Veamos quál es el curso de la luz en uno de estos instrumentos con tres lentes, que es el que está mas en uso en el dia.

1666 El objeto *a b* (*fig.* 249) se coloca un poco mas léjos de la lente objetiva *c* que la longitud de su foco, y se le ilumina suficientemente. Los manojos de rayos divergentes, que salen de todos los puntos visibles (1188), tales como *a d e*, *b d e*, &c. y que cubren toda la superficie de la lente, despues

Digitized by Google

de haber sufrido en ella las dos refracciones ordinarias, se hacen un poco convergentes los rayos que componen cada uno de ellos (1356), como *d g*, *e f*, &c. en tanto que los manojos permanecen divergentes entre sí; y si estos manojos no fueran detenidos, los rayos de que estan compuestos irian, reuniéndose, á formar una imágen invertida á la distancia *b i*. Pero recibidos estos manojos de luz por la lente *k*, de divergentes que eran, se vuelven al atravesarla, un poco convergentes entre sí; y los rayos que componen cada manojo, haciéndose mas convergentes que lo que eran, se cruzan mas pronto, y forman á corta distancia de allí la imágen invertida *l m*. Se coloca una segunda lente ocular *n* un poco mas cerca de esta imágen que la longitud de su foco; mediante cuya disposicion (1355), los rayos divergentes que salen de los puntos *l*, *m*, &c. (1188) pierden, al atravesar esta lente *n*, quasi toda su divergencia; y los manojos que salen de cada punto, se hacen entre sí bastante convergentes para cruzarse en *o*, en donde se coloca el ojo, y hacen ver la imágen *l m* (que es entónces el objeto inmediato de la vision) baxo el ángulo *p o q*, incomparablemente mas grande que lo que seria el ángulo *a o b*, baxo el qual se percibiria el objeto á la simple vista, si no hubiese instrumento ninguno entre él y el ojo.

1667. Este microscopio es mucho mas cómodo que el simple: se puede observar con él toda suerte de objetos pequeños, transparentes, ú opacos, coloridos ó no, y con la cantidad de luz conveniente á cada uno. Si se quiere conocer todas las piezas que hacen su uso cómodo al observador, en toda clase de observaciones, se hallará la descripcion de ellas en mi *Diccionario de Física* á la palabra *Microscopio compuesto*.

Digitized by Google

1668 En lugar de dos oculares solamente, se pone algunas veces un número mas grande. *Delbare*, que ha trabajado en Holanda, y que actualmente está en París, pone hasta cinco. No conozco mejor microscopio que el suyo: combinando diferentemente sus lentes oculares, sea relativamente á los sitios que ocupan, sea relativamente á los intervalos que las separan, produce los mayores efectos, y del modo mejor que se puede desear.

1669 La invencion del microscopio es posterior á la del telescopio, el qual no se descubrió hasta cerca de 300 años despues de la invencion de los anteojos para leer (1573); y los microscopios no se han conocido hasta el principio del siglo XVI, hácia el año 1670.

Microscopio solar.

1670 El microscopio solar es un instrumento de dióptrica, por medio del qual se ve en grande, en una pieza obscura, las imágenes de los objetos muy pequeños vivamente iluminados por el sol. Este instrumento, que nos ha venido de Londres en 1743, habia sido inventado poco tiempo ántes por el Doctor *Liéberkuyn*, de la Academia Real de Ciencias de Berlin, y de la Sociedad Real de Londres.

1671 Para hacer uso del microscopio solar, se necesita tener una pieza bien cerrada y bien obscura, que tenga una ventana hácia el sol, y en el postigo de la qual haya un agujero á propósito para recibir el porta-luz, en el qual se acomodan los tubos y otras piezas en donde estan las dos lentecillas y el porta-objeto de que se compone este microscopio. Mediante esto, se puede introducir, segun sea preciso, en esta pieza obscura un grueso manojo de luz solar, que se dirige horizontalmente, por medio de un espejo plano movible, colocado fuera

Digitized by Google

de la ventana. La descripcion de todas estas piezas se hallará en mi *Diccionario de física* á la palabra *Microscopio solar*.

1672 Supongamos pues que *a b* (*fig.* 250) sea el espejo plano, y que en el agujero del postigo de la ventana se haya colocado el porta-luz, en el qual esté ajustado un tubo que tenga una lente convexa *c*, cuyo foco esté á 7 ú 8 pulgadas de distancia: sea *d e* el manojo de luz solar, que cayendo sobre el espejo *a b*, se reflexa en la direccion horizontal *e f*, hácia la lente *c*, la qual reune en su foco los rayos solares que componen este manojo. Si suponemos ahora una pequeña lámina de cristal *g*, en donde se halla el objeto, colocada en este rayo de luz viva, y que se acerca á la lente *b*, de modo que la lámina ó porta-objeto *g* quede á una distancia un poco mas grande que la de su foco (1666), los rayos de cada manojo, que salen de cada punto del objeto, despues de haber atravesado la lente *b*, son un poco convergentes entre sí; y habiéndose cruzado en la lente *b* todos estos manojos, van divergiendo entre sí, á pintar una imágen invertida de este objeto, prodigiosamente amplificada, sobre la pared, ó sobre una tela blanca *i k*, elevada verticalmente, y colocada á 10 ó 12 pies de distancia, hácia el fondo de la pieza.

1673 El microscopio solar es un instrumento muy curioso y muy interesante: es muy á propósito para extender los progresos de la historia natural y de la física, por la facilidad que proporciona para ver en grande, sin trabajo alguno, y por muchas personas á un tiempo, objetos prodigiosamente pequeños. Un cabello parece en él tan grueso como un palo de escoba: una pulga, tan gruesa como un carnero, y aun como un buey. Uno de los espectáculos que causan mas gusto es el de ver en él la circulacion de la sangre en la cola de un lagarto

Digitized by Google

ó rana, ó la cristalizacion de las sales, y sobre todo la del muriate de amoniaca. El primero de estos espectáculos parece una carta geográfica iluminada, y de la que todos los rios estuviesen animados por una verdadera corriente; y el segundo parece una vegetacion milagrosa, por la prontitud con que se executa.

1674 Con el auxílio de este microscopio se puede dibuxar cómodamente los objetos, y de la magnitud que se quiera; por ser fácil variar la magnitud aparente de ellos, en la forma que acomode: para esto no se necesita mas que mudar la distancia del plano *i k* al microscopio, y variar un poco la distancia respectiva de las dos lentes *c* y *b*: y como el plano *i k* es transparente, pues que se supone ser de una tela delgada, como por exemplo, de tafetan, y se ve la imágen del objeto quasi tan claramente detras como delante, se la podrá copiar por detras del plano; con lo qual no interceptará la luz la sombra de la mano, como lo haria si se la copiase por delante.

1675 La linterna mágica, instrumento que debemos al P. *Kirker*, jesuita aleman, y que no es de utilidad alguna, sino solamente de pura curiosidad, se parece mucho, en su construccion y sus efectos, al microscopio solar: la luz tiene en ella un curso semejante, y sus rayos van del mismo modo á pintar en grande, sobre un plano blanco, los objetos que estan dibuxados sobre unas láminas de cristal; y se la ilumina con la luz de una vela, ó mejor aun con un rayo grueso de luz solar.

FIN DEL TOMO SEGUNDO.

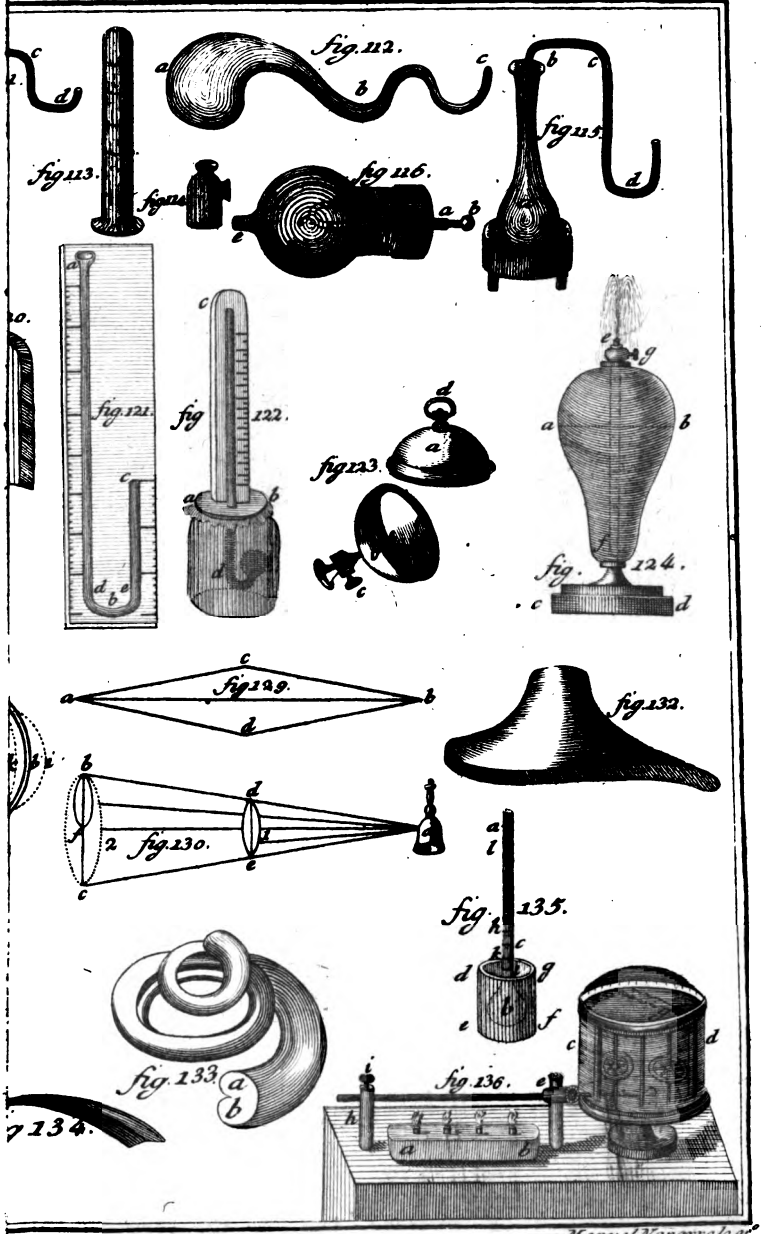
Digitized by Google

CORRECCIONES.

Página.	Línea.	Dice.	Debe decir.
9	19	trasparíencia	*transparencia.*
59	3	meteria	*materia.*
62	1	calor	*color.*
63	18	llamado	*llamada.*
78	8	Bel	*Del.*
84	11	equilibro	*equilibrio.*
93	36	dupla de la bomba	*dupla de la de la bomba.*
95	28	despleglándose	*desplegándose.*
160	1	1200 ó 1400	*12000 ó 14000.*
205	8	per	*por.*
217	29	po	*por.*
229	6	transparantes	*transparentes.*
273	17	le	*la.*
294	33	poque	*porque.*
306	33	*e*	*é*
313	1	el sol	*sol.*
345	4	alguna	*algunas.*

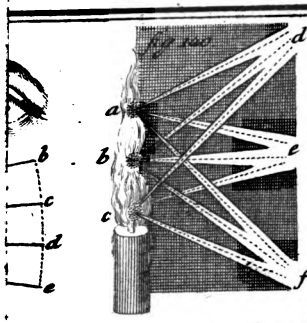
Digitized by Google

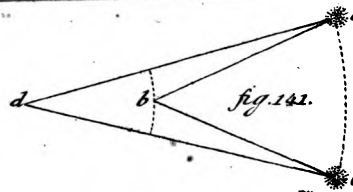
Digitized by Google

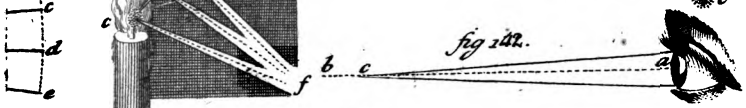


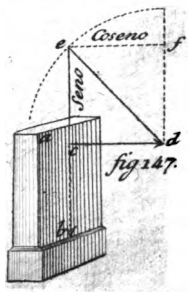
Digitized by Google

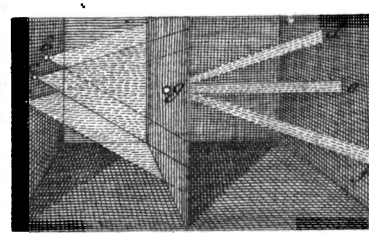
Digitized by Google

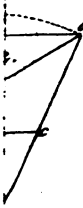


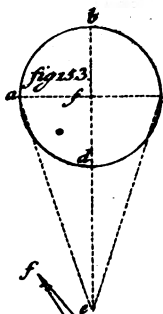


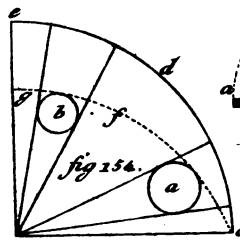


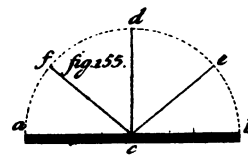


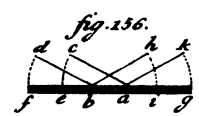


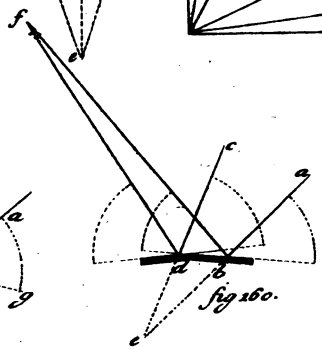


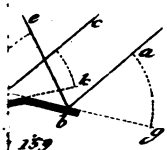


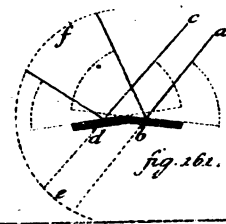








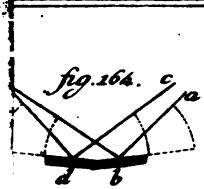


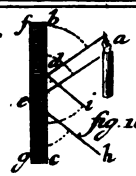


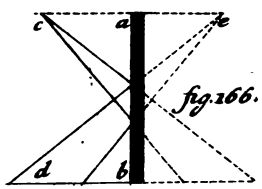
M. Navarro Sc. gra.

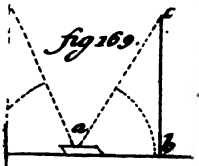
Digitized by Google

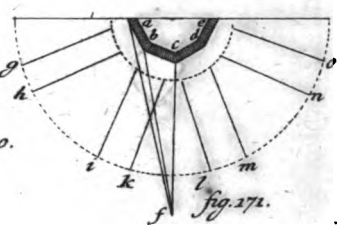
Digitized by Google

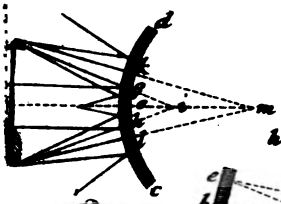


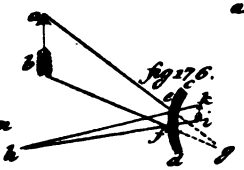


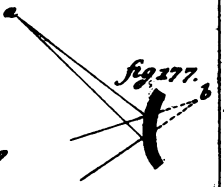


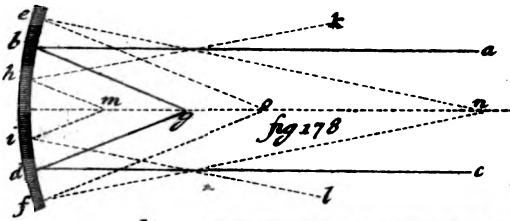


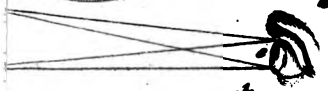


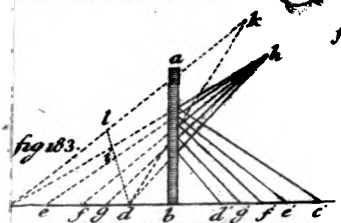


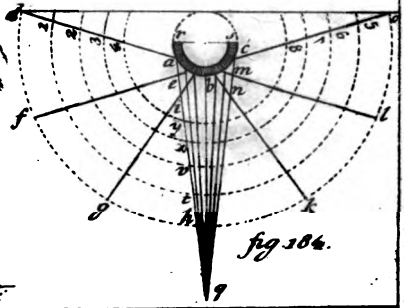








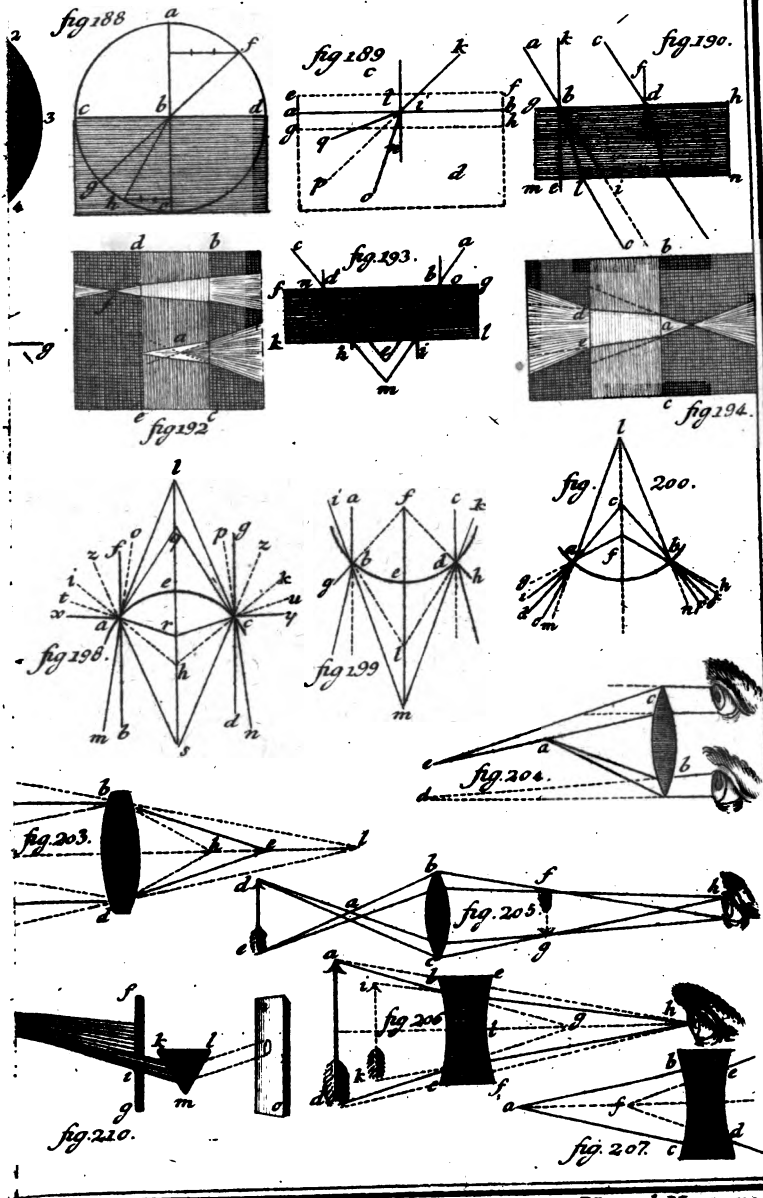




Manuel Navarro f.

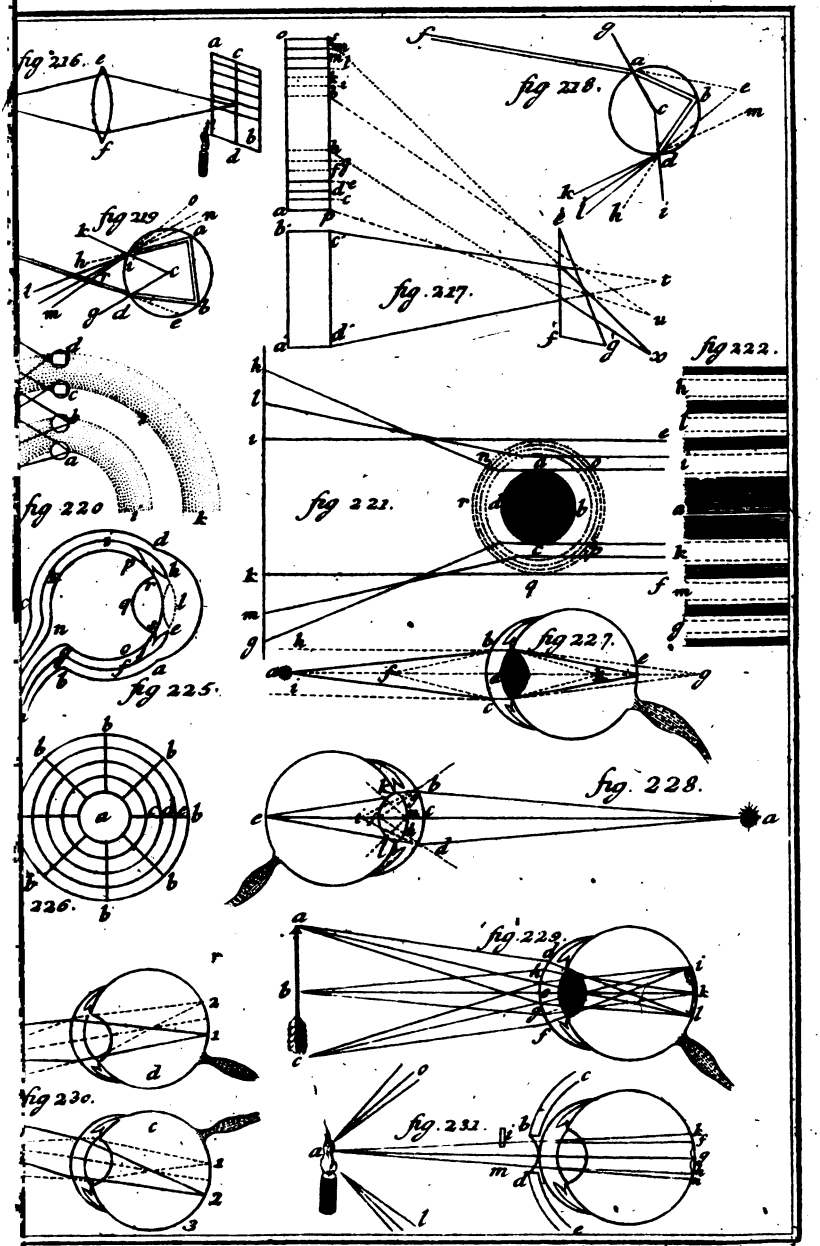
Digitized by Google

Digitized by Google



Digitized by Google

Digitized by Google



Manuel Navarro lo grabo.

Digitized by Google

Digitized by Google

fig. 237.

fig. 238.

fig 244

fig 245

fig 240.

fig 247.

fig 248.

fig 242

fig 239.

fig. 246.

fig. 249.

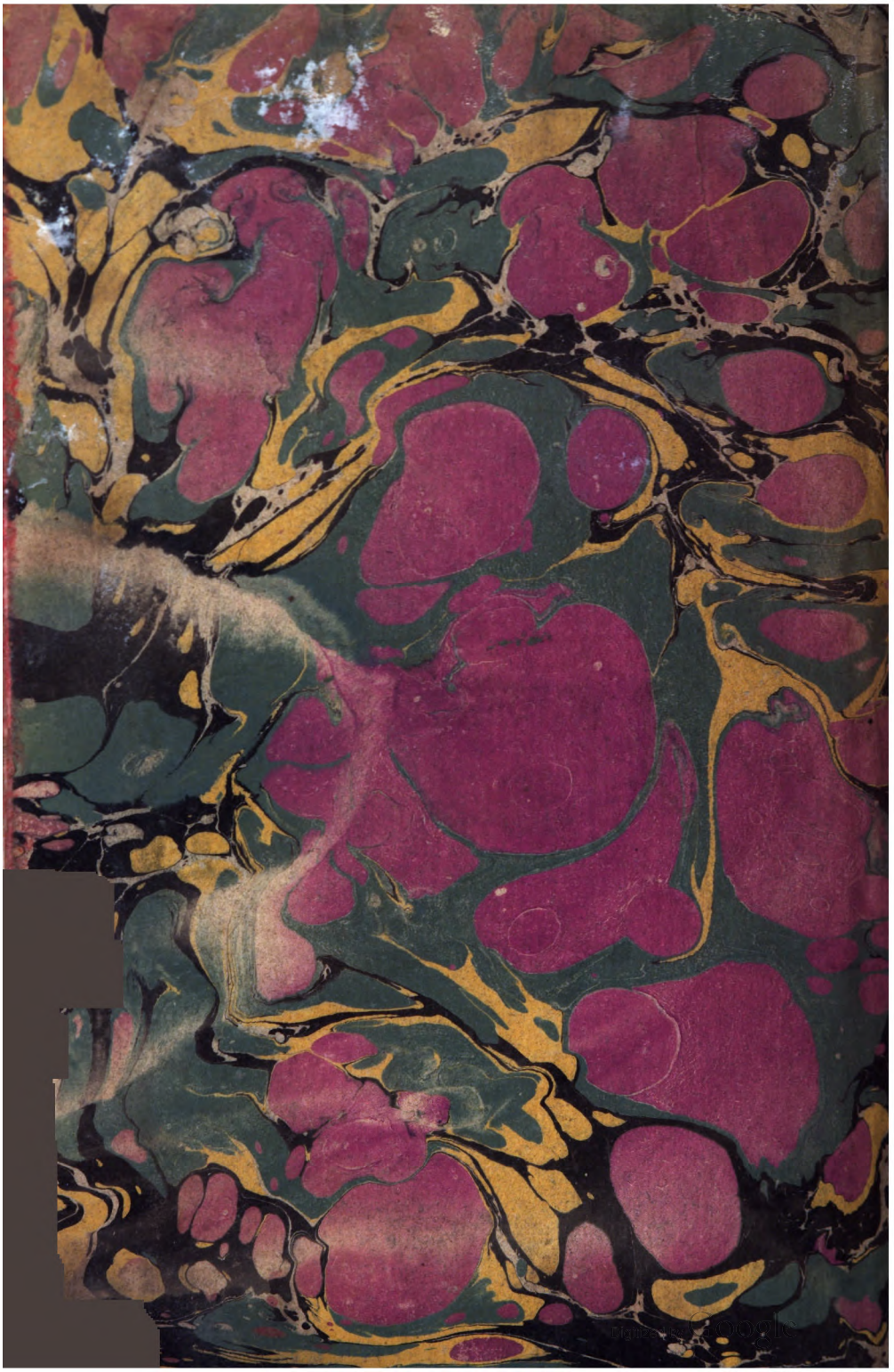
fig. 250.

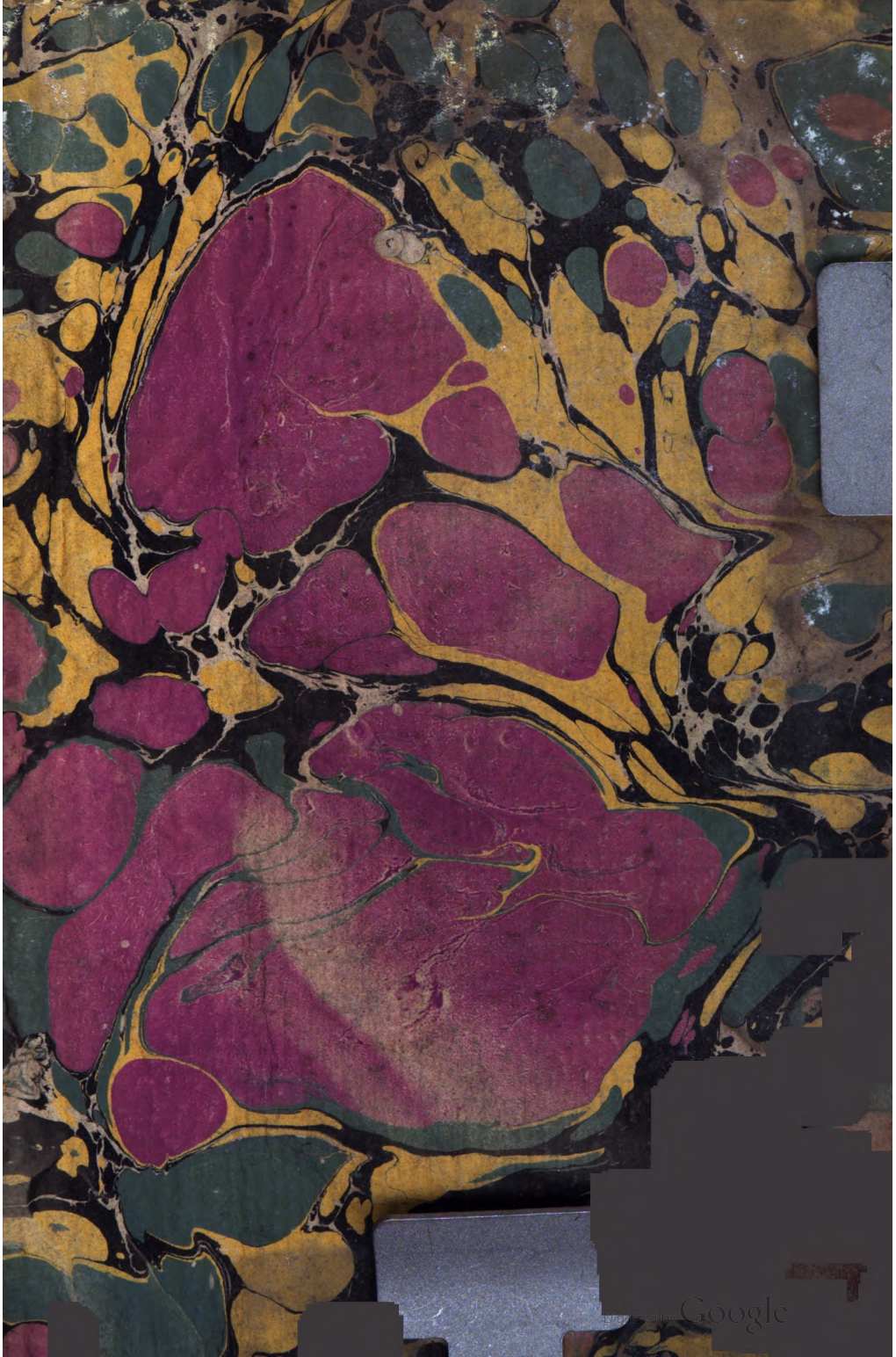
Manuel Navarro lo grabo.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google




Google

Digitized by Google